ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যা

[ডিগ্রী পাশ-কোর্সের জন্য]

ডঃ সমীর কুমার ঘোষ

সেন্ট্রাল

ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যা

[পশ্চিমবঙ্গ, ত্রিপুরারাজ্য ও বাংলাদেশের বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতকশ্রেণীর পাশকোর্স-পাঠক্রম অনুসারে লিখিত]

ডঃ সমীরকুমার ঘোষ, এম. এস-সি. ; পি-এইচ. ডি.
অধ্যাপক, পদার্থবিদ্যা বিভাগ
বিশ্বভারতী বিশ্ববিদ্যালয়
শান্তিনিকেতন

নিউ সেণ্ট্রাল বুক এজেন্সী
৫৪বি, পটুয়াটোলা লেন
৮/১, চিন্তামণি দাস লেন
কলিকাতা-৭০০ ০০৯

প্রকাশক :
জে. এন. সেন
৮/১ চিন্তামণি দাস লেন
কলিকাতা-৭০০ ০০৯

মুদ্রাকর :
অনিল কুমার ঘোষ
দি অশোক প্রিন্টিং ওয়ার্কস্
২০৯/এ, বিধান সরণী
কলিকাতা-৭০০ ০০৬
ও
নীলাচল প্রেস
এণ্টনি বাগান লেন
কলিকাতা-৭০০ ০০৯

PROF. S. D. CHATTERJEE
D. Sc., F N.A., L.F.I.E.E.E. (U.S.A.),
M.R.I. (Lond.), F.A.S.
Professor Emeritus Jadavpur University.
Adviser Helium Research Project Department
of Atomic Energy, Govt. of India.

Telephone No. 41-2113
91, BALLYGUNGE PLACE
CALCUTTA-700019

ভূমিকা

বাংলা ভাষায় বিজ্ঞান চর্চার কথা যদিও প্রায়শঃই অনেককে বলতে শোনা যায়, কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে এই কাজের জন্ত প্রয়াসী লোকের সংখ্যা খুবই কম। আমার পূর্বতন প্রিয় ছাত্র এবং বর্তমানে শান্তিনিকেতনে বিশ্বভারতী বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থ-বিদ্যার অধ্যাপক ডক্টর সমীরকুমার ঘোষ দীর্ঘদিন যাবৎ নানা পত্র-পত্রিকা, বেতার প্রভৃতির মাধ্যমে বাংলা ভাষায় বিজ্ঞান প্রসারের কাজে লিপ্ত রয়েছেন। সম্প্রতি তিনি স্নাতক শ্রেণীর পাঠ্যক্রম (পাসকোর্স) অনুযায়ী একটি ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যার পুস্তক বাংলা ভাষায় রচনায় প্রয়াসী হয়েছেন। সেটি শীঘ্রই প্রকাশিত হবে জেনে আমি বিশেষ আনন্দিত হ'লাম। ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যার মত জটিল বই বাংলা ভাষায় সচরাচর দৃষ্টিগোচর হয় না। সে হিসাবে এই প্রচেষ্টা বিশেষ প্রশংসনীয়।

আশা করি ডঃ সমীরকুমার ঘোষের প্রচেষ্টা সার্থক হবে এবং সংশ্লিষ্ট ছাত্র ও অধ্যাপকবৃন্দের বহুদিনের অভাব পূরণ করতে সক্ষম হবে।

শ্রীমান সমীরের এই প্রয়াস, প্রচেষ্টা ও পরিশ্রম সর্বাঙ্গসার্থক হ'য়ে উঠুক, এই কামনাই করি।

শ্যামাদাস চট্টোপাধ্যায়

উৎসর্গ

আমার পিতৃতুল্য শ্রদ্ধেয়
৺মনোতোষ সরকার-এর
স্মৃতির উদ্দেশ্যে

লেখকের নিবেদন

মাতৃভাষা মাধ্যমে বিজ্ঞান শিক্ষার প্রয়োজনীয়তার কথা বহুদিন ধরে বিভিন্ন মহলে আলোচিত হয়েছে এবং এ ব্যাপারে সারাদেশে সরকারী ও বেসরকারী মহলে নানা প্রয়াসের কথা অনেকেই হয়ত জানেন। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে, বিশেষভাবে বাংলাভাষায়, বিজ্ঞান শিক্ষা ও চর্চার জন্য পাঠ্যপুস্তকের সংখ্যা প্রয়োজনের তুলনায় সত্যই অপ্রতুল। মাধ্যমিক বা উচ্চ মাধ্যমিক পর্যায়ে বাংলাভাষায় লেখা বিজ্ঞানের পাঠ্যপুস্তকের সংখ্যা যদিও হয়ত যথেষ্ট, কিন্তু উচ্চতর বিজ্ঞান শিক্ষার ক্ষেত্রে, বিশেষতঃ স্নাতক ও স্নাতকোত্তর পর্যায়ে, বাংলাভাষায় পাঠ্যপুস্তকের অভাব বিশেষভাবে লক্ষণীয়। ঐ স্তরে বিজ্ঞানের তাত্ত্বিক (theoretical) বিষয়বস্তুর বই যদিও বা বাংলাভাষায় কিছু কিছু পাওয়া যায়, কিন্তু ব্যবহারিক (practical) শাখার জন্য বাংলাভাষায় বইয়ের অস্তিত্ব নেই বললেই হয়। সেই অভাব পূরণের সদিচ্ছার ফলশ্রুতি হিসাবেই এই বইয়ের আত্মপ্রকাশ।

পদার্থবিদ্যা একটি ব্যবহারিক বিজ্ঞান। সঠিকভাবে ব্যবহারিক পরীক্ষার সাহায্য ব্যতীত, এই বিজ্ঞান করায়ত্ত করা যায় না। সেজন্য ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যার গুরুত্ব শিক্ষার্থী ছাত্রদের কাছে অসীম। এই ধারণার বশবর্তী হ'য়েই এবং স্নাতকশ্রেণীর ছাত্রছাত্রীদের কথা চিন্তা করেই, এই পুস্তক রচনায় প্রয়াসী হয়েছি। কলিকাতা, বর্ধমান, যাদবপুর, কল্যাণী, উত্তরবঙ্গ, বিশ্বভারতী এবং বাংলাদেশের কয়েকটি বিশ্ববিদ্যালয়ের সাম্প্রতিক সংশোধিত পাঠক্রম (পাশকোর্স) অনুসরণ করেই এই বই রচনা করা হয়েছে এবং রচনাকালে প্রধানতঃ সরকার অনুমোদিত বিজ্ঞানের পরিভাষাকেই অনুসরণে প্রয়াসী হয়েছি।

প্রতিটি পরীক্ষার যাবতীয় খুঁটিনাটি এবং পরীক্ষাশেষে কিছু 'প্রশ্নোত্তর' বইটিতে দেওয়া হয়েছে। এই 'প্রশ্নোত্তর' অংশ শিক্ষার্থীর মনে, পরীক্ষাসংক্রান্ত নানা ভাবনাচিন্তার উদ্রেক করতে সাহায্য করবে। 'পরিশিষ্টে' কতকগুলি ভৌত রাশির ধ্রুবকমান এবং বিভিন্ন গাণিতিক তালিকা দেওয়া হয়েছে, যেগুলি পরীক্ষাকালে বিশেষ সহায়ক হবে।

এই পুস্তক রচনার কাজে যাদের প্রত্যক্ষ এবং পরোক্ষ সাহায্য পেয়েছি, তাদের নিকট আমি আমার আন্তরিক কৃতজ্ঞতা জানাই। এঁদের মধ্যে আমার সহধর্মিণী শ্রীমতী নন্দিতা ঘোষ ও পুত্র শ্রীমান কৌশিকের নাম বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

এই গ্রন্থের প্রকাশক, আমার অগ্রজপ্রতিম শ্রীযোগেন্দ্রনাথ সেন মহাশয়ের সম্বন্ধে কিছু না বললে, আমার বক্তব্য অসম্পূর্ণ থেকে যাবে। শ্রী সেনের অকুণ্ঠ সহযোগিতা ও অদম্য এবং নিরবিচ্ছিন্ন উৎসাহের কথা বিশেষভাবে স্মরণীয়। তাঁর ঐকান্তিক প্রচেষ্টা ব্যতীত এই বই এত অল্প সময়ের মধ্যে কখনোই প্রকাশিত হ'তে পারত না।

পরিশেষে আমার নিবেদন এই যে, বাংলাভাষায় ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞানের বই রচনার কাজ যে কতটা কঠিন ও দুরূহ, সেকথা যে কোন পদার্থবিদমাত্রই জানেন।

সেকথা অবশ্য স্মরণে রেখেই এই দুঃসাহসিক প্রচেষ্টায় প্রয়াসী হয়েছি—সফল কতখানি হ'তে পেরেছি, সেটুকু বিচারের ভার, স্নেহাস্পদ ছাত্রছাত্রীবৃন্দ ও বিদগ্ধ শিক্ষক সমাজের উপর। পুস্তকের শ্রীবৃদ্ধি, উন্নতি ও মান সংরক্ষণের ব্যাপারে, যে কোন মতামত, পরামর্শ অথবা অনুযোগ সাদরে ও কৃতজ্ঞচিত্তে গ্রহণ করব এবং গঠনমূলক সমালোচনা পেলে বিশেষভাবে বাধিত হব।

যাদের জন্য এই বই প্রকাশিত হ'ল, ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যার কাজে তাদের এই বই যদি বিন্দুমাত্রও সাহায্য করতে পারে, তাহলে আমার সকল পরিশ্রম সার্থক হয়েছে বলে মনে করব।

সমীরকুমার ঘোষ

সূচীপত্র

(Contents)

পৃষ্ঠা সংখ্যা

প্রথম অধ্যায় : পরিমাপ, পরিমাপে ভ্রম ও তাহা নিরূপণ

1·1 ভূমিকা ... 1
1·2 সাধারণ নির্দেশাবলী ... 3
1·3 লেখচিত্র অঙ্কন ... 6
1·4 পরিমাপে ভ্রম, উহার সীমানা ও উহা ন্যূনতম করিবার উপায় ... 8
1·5 যাথার্থের মাত্রা, আনুপাতিক ভুল ও শতকরা ভুল ... 9
1·6 গড় ভুল বা বিচ্যুতি, প্রমাণ বিচ্যুতি ও সম্ভাব্য ভুল ... 12

দ্বিতীয় অধ্যায় : দৈর্ঘ্য ও ভরের পরিমাপ পদ্ধতি

2·1 ভার্ণিয়ার স্কেল ... 14
2 2 ডায়াগোনাল স্কেল : উহার গঠন ও ব্যবহার ... 15
2·3 স্লাইড ক্যালিপার্স ও উহার ব্যবহার ... 17
2·4 স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে একটি সুষম কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয় .. 18
2·5 স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু ... 20
2·6 স্ফেরোমিটার ও উহার ব্যবহার ... 23
2·7 ভার্ণিয়ার মাইক্রোস্কোপ ও উহার ব্যবহার ... 28
2·8 ক্যাথিটোমিটার : উহার গঠন ও ব্যবহার ... 29
2·9 ফর্টিন ব্যারোমিটার : উহার গঠন ও ব্যবহার ... 30
2·10 সাধারণ তুলাযন্ত্র ও উহার সাহায্যে বস্তুর ভর নির্ণয় ... 32
2 11 তুলাযন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর ভর নির্ণয় ... 35

তৃতীয় অধ্যায় : পদার্থের সাধারণ ধর্ম-বিষয়ক পরীক্ষাসমূহ

3·1 ভারকেন্দ্রের মধ্যদিয়াগামী দৈর্ঘ্যের সমকৌণিক অক্ষরেখাভিত্তিক কোন বস্তুর জাড্য-ভ্রামক নির্ণয় ... 39
3·2 * আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে জলে অদ্রাব্য কঠিন চূর্ণাকার পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ... 43
3·3 আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে জলে দ্রাব্য কঠিন চূর্ণাকার পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ... 45
3·4 বয়েল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা ... 48

পৃষ্ঠা সংখ্যা

3·5 ভার্ণিয়ারের সাহায্যে একটি ধাতব তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় এবং হুকের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ ... 53

3·6 সার্লের যন্ত্রের সাহায্যে (মাইক্রোমিটার পদ্ধতি) কোন তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় ... 59

3·7 নমনপ্রক্রিয়ার সাহায্যে একটি দণ্ডের উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় ... 64

3·8 স্থিতীয় পদ্ধতিতে কোন তারের উপাদানের দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক নির্ণয় ... 69

3·9 গতীয় পদ্ধতিতে কোন তারের উপাদানের দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক নির্ণয় ... 74

3·10 কৈশিক নল পদ্ধতিতে তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় এবং জুরিন সূত্রের সত্যতা নির্ধারণ ... 79

3·11 তরলের সান্দ্রতাঙ্ক নির্ণয় (উহাকে কৈশিক নলের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করাইয়া) ... 85

চতুর্থ অধ্যায় : তাপবিজ্ঞান সংক্রান্ত পরীক্ষাসমূহ

4·1 ভার্ণিয়ার অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় ... 92

4·2 অপ্‌টিক্যাল লিভার যন্ত্রের সাহায্যে ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় ... 96

4·3 স্থির আয়তনবিশিষ্ট কোন গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্কের মান নির্ণয় ... 102

4·4 স্থির চাপবিশিষ্ট কোন গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্কের মান নির্ণয় ... 108

4·5 মিশ্রণ প্রক্রিয়ার সাহায্যে কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (তাপবিকিরণের জন্য ... 113
সংশোধন প্রয়োগ করিয়া) ...

4·6 উষ্ণতা-হ্রাস নিরীক্ষণ করিয়া তরলের আপেক্ষিক ... *120*
তাপ নির্ণয় ... 120

4·7 ওয়েট থার্মোমিটারের সাহায্যে কোন তরলের আপাত আয়তন প্রসারাঙ্ক নির্ণয় ... 125

4·8 ডুল্যং-পেটিটের যন্ত্রের সাহায্যে কোন তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারাঙ্ক নির্ণয় ... 128

			পৃষ্ঠা সংখ্যা
4·9	বাষ্পের (স্টীম) লীনতাপের মান নির্ণয়	...	133
4·10	শার্লের পদ্ধতির সাহায্যে সুপরিবাহী একটি ধাতব দণ্ডের তাপপরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয়	...	137

পঞ্চম অধ্যায় : শব্দবিজ্ঞানের পরীক্ষাসমূহ

5·1	অনুনাদীস্তম্ভের সাহায্যে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ নির্ণয়	...	143
5·2	একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক সনোমিটারের সাহায্যে নির্ণয়	..	147
5·3	বিভিন্ন কম্পাঙ্ক ও অনুনাদী দৈর্ঘ্য লইয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন ও উহা হইতে একটি অজানা কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়	...	152
5·4	মেল্‌ডির পরীক্ষার সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়	...	155

ষষ্ঠ অধ্যায় : চুম্বকবিজ্ঞানের পরীক্ষাসমূহ

6·1	ম্যাগনেটোমিটারের সাহায্যে (ক) একটি দণ্ডচুম্বকের চৌম্বকভ্রামক নির্ণয় এবং (খ) ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য নির্ণয়	...	161

সপ্তম অধ্যায় : আলোকবিজ্ঞানের পরীক্ষাসমূহ

7·1	উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব এবং উহার বক্রতা-ব্যাসার্ধ মাপিয়া উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়	...	169
7·2	সমতল দর্পণ ও একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে কোন তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়	...	172
7·3	ভার্ণিয়ার অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে কোন স্বচ্ছ তরলের প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ণয়	...	176
7·4	বস্তুর দূরত্ব এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব নির্ণয় করিয়া একটি লেখচিত্রের সাহায্যে একটি অবতল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়	...	180
7·5	সহায়ক লেন্সের সাহায্যে একটি উত্তল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়	...	183
7·6	উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব ও প্রতিবিম্বের দূরত্বের মধ্যে লেখচিত্র অঙ্কন করিয়া লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়	...	186
7·7	'সরণ পদ্ধতি' উপায়ে অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যে কোন উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়	...	193

পৃষ্ঠা সংখ্যা

7·8 বেশী ক্ষমতাসম্পন্ন একটি উত্তল লেন্সকে একটি অবতল লেন্সের সহিত যুক্ত করিয়া, অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যে ঐ অবতল লেন্সের ফোকাস্‌-দূরত্ব নির্ণয় ... 199
7·9 একটি সহায়ক উত্তল লেন্সের সাহায্যে অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চের দ্বারা একটি অবতল লেন্সের ফোকাস্‌-দূরত্ব নির্ণয় ... 201
7·10 স্পেকট্রোমিটারের গঠন ও উহাকে ব্যবহারের উপযোগিকরণ ... 206
7·11 স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় ... 213
7·12 একটি পাতলা প্রিজমের উপর লম্বভাবে আপতিত রশ্মির সাহায্যে ঐ প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় ... 219
7·13 প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মির বিভিন্ন আপতন কোণ এবং তাহাদের বিচ্যুতিকোণের মধ্যে সম্বন্ধ একটি লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ এবং উহা হইতে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক এবং রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিকোণের মান নির্ণয় ... 224
7·14 বিবর্তনচিত্র পর্যবেক্ষণ করিয়া একটি সরু রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা নির্ণয় ... 230
7·15 একটি সমোত্তল লেন্সকে একটি কাচের পাতের উপর রাখিয়া উৎপন্ন 'নিউটন বলয়'-এর সাহায্যে ঐ লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধের মান নির্ণয় ... 235
7·16 চিনির দ্রবণের গাঢ়তার সহিত সমবর্তন তলের ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয় এবং একটি অজানা গাঢ়তার দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় ... 243

অষ্টম অধ্যায়: বৈদ্যুতিক পরীক্ষাসংক্রান্ত কয়েকটি যন্ত্রাবলীর বিবরণ

8·1 রোধ ও তাহার বিভিন্ন ধরন ... 253
8·2 বিভিন্ন ধরনের কোষসমূহ ও তাহাদের ব্যবহার ... 256
8·3 বিভিন্ন প্রকারের বৈদ্যুতিক চাবি ... 260
8·4 গ্যালভ্যানোমিটার ও উহার বিভিন্ন প্রকারভেদ ... 264
8·5 শান্ট ও উহার ব্যবহার ... 267
8·6 অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটার ... 268

			পৃষ্ঠা সংখ্যা
8·7	হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি	...	270
8·8	বৈদ্যুতিক পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রাদি ও সরঞ্জামগুলির প্রতীক চিহ্ন	...	271

নবম অধ্যায় : বিদ্যুৎসংক্রান্ত পরীক্ষাসমূহ

9·1	মিটার ব্রিজ ও উহার প্রান্তিক ত্রুটি নির্ণয়	...	273
9·2	মিটার ব্রিজের সাহায্যে কোন পরিবাহী তারের উপাদানের রোধাঙ্ক নির্ণয়	...	278
9·3	মিটার-ব্রিজের সাহায্যে বিভব-পাত পদ্ধতি দ্বারা দুইটি নিম্নমানের রোধের তুলনা	...	283
9·4	ক্যারি-ফস্টার পদ্ধতিতে ঐ ব্রিজের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ নির্ণয়	.	289
9·5	পোষ্ট-অফিস বাক্সের সাহায্যে একটি অজ্ঞাত রোধের মান নির্ণয় এবং একাধিক রোধের শ্রেণীসমবায় ও সমান্তরাল সংযোগের সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়	..	294
9·6	অর্ধবিক্ষেপ পদ্ধতির সাহায্যে একটি প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ নির্ণয়	..	299
9·7	প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্ক নির্ণয়	...	302
9·8	প্রতিস্থাপন পদ্ধতিতে একটি প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভানো-মিটারের বিক্ষেপ নিরীক্ষণ করিয়া একটি উচ্চমানের রোধ নির্ণয়	..	306
9·9	তামার ভোল্টামিটারের সাহায্যে একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটারের পরিবর্তন গুণাঙ্ক নির্ণয়	...	310
9·10	একটি ভোল্টামিটার ও একটি অ্যামমিটারের সাহায্যে তামার বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয়	...	314
9·11	একটি পরিবাহী তারের উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক নির্ণয়	...	317
9·12	জুল ক্যালোরিমিটারের সাহায্যে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের (জুল তুল্যাঙ্কের) মান নির্ণয়	...	321
9·13	পোটেন্সিয়োমিটার ও উহার কার্যক্রম	...	326
9·14	একটি জানা রোধবিশিষ্ট পোটেন্সিয়োমিটার ও একটি মিলিঅ্যামমিটারের সাহায্যে একটি কোষের তড়িচ্চালক বলের মান নির্ণয়	...	328

পৃষ্ঠা সংখ্যা

9·15 পোটেন্শিয়োমিটারের সাহায্যে দুইটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা ... 333

9·16 বর্তনীতে স্থাপিত একটি জানা মানের রোধের প্রান্তবিন্দু-দ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্যের মান মাপিয়া একটি পোটেন্শিয়োমিটারের সাহায্যে ঐ বর্তনীতে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার মান নির্ণয় ... 336

9·17 একটি তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের উষ্ণতা বনাম তাপ-তড়িচ্চালক বলের লেখচিত্র অঙ্কন এবং উহা হইতে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তাপবৈদ্যুৎ ক্ষমতার মান নির্ণয় ... 341

9·18 ভূচুম্বকী আবেশকের সাহায্যে কোন স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের বিনতির পরিমাণ নির্ণয় ... 347

দশম অধ্যায় : ইলেকট্রনিক্সের পরীক্ষাবলী

10·1 ডায়োড-ভালভের স্থিতীয় অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন ... 354

10·2 ট্রায়োড-ভালভের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন এবং উহা হইতে ভালভের ধ্রুবকগুলির মান নির্ণয় ... 358

10·3 অর্ধপরিবাহী ডায়োডের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন ... 367

10·4 একটি ট্রানজিস্টরের (p-n-p) অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন যাহার নিঃসারক সাধারণ অংশীদার হিসাবে বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত থাকে ... 371

পরিশিষ্ট : ভৌত ধ্রুবক রাশির তালিকা

1. কয়েকটি প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্র ... i
2. কয়েকটি নিয়মিত আকারবিশিষ্ট বস্তুর জাড্য-ভ্রামক ... i
3. পরিবর্তন তালিকা ... i
4. সাধারণ কতকগুলি পদার্থের ঘনত্ব ... ii
5. বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব ... iii
6. পদার্থের স্থিতিস্থাপকীয় ধ্রুবক ও অসহ-পীড়ন ... iii
7. তরল ও গ্যাসের সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক ও বাতাসের সংস্পর্শে তরল-তলের পৃষ্ঠটান ... iv
8. উষ্ণতার সহিত জলের পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা-গুণাঙ্কের পরিবর্তন ... v
9. বিভিন্ন মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ ... v
10. সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ ... vi

			পৃষ্ঠা সংখ্যা
11.	বিভিন্ন পদার্থের তাপীয় ধর্ম (গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক, আপেক্ষিক তাপ, লীনতাপ, দৈর্ঘ্য ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ও তাপপরিবাহিতাঙ্ক)	...	vii
12.	বিভিন্ন স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের উপাদানের এবং অভিকর্ষজ ত্বরণের ('g') মান	...	viii
13.	পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক	...	viii
14.	কয়েকটি মৌলের নিঃসরণ-বর্ণালীরেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য	...	ix
15.	বিভিন্ন কোষের তড়িচ্চালক বল	...	ix
16.	পদার্থের বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান	...	x
17.	কয়েকটি পদার্থের দ্রবণের সমবর্তনতলের আপেক্ষিক ঘূর্ণন	...	x
18.	পদার্থের আপেক্ষিক রোধ ও রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক	...	xi
19.	কয়েকটি তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের ধ্রুবক সংখ্যা	...	xi
20.	কয়েকটি গাণিতিক ধ্রুবক ও তাহাদের লগারিদম্	...	xii
	লগারিদম্	...	xiii-xiv
	অ্যান্টিলগারিদম্	...	xv-xvi
	সাইন তালিকা	...	xvii-xviii
	ট্যানজেন্ট তালিকা	...	xix-xx

প্রথম অধ্যায়

পরিমাপ, পরিমাপে ভ্রম ও তাহা নিরূপণ

(Measurements, Errors in measurements and their determinations)

1.1 ভূমিকা (Introduction) :

জ্ঞানের অন্যান্য বিভিন্ন শাখার সঙ্গে বিজ্ঞানের একটি মৌলিক পার্থক্য আছে। বিজ্ঞানের যে-কোন বিষয়কে সত্য হিসাবে স্বীকার করিয়া লওয়ার পূর্বে নানাপ্রকার পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে সেই সত্যের সত্যতা নিরূপণ করিয়া লওয়া একান্ত প্রয়োজন। প্রকৃতপক্ষে বিজ্ঞানের যে-কোন শাখায়, যে-সমস্ত সূত্র বা ধর্ম আবিষ্কৃত হইয়াছে, তাহাদের মূলে আছে অসংখ্য পরীক্ষা। এই পরীক্ষার সূত্রেই উদ্ভূত হয়, নানা বৈজ্ঞানিক সত্য এবং সেই সত্যের ভিত্তিতেই গড়িয়া উঠে নানা তত্ত্ব। পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণের দ্বারা প্রাপ্ত ফলকে বলে তথ্য বা উপাত্ত (data) এবং এই তথ্যের ভিত্তিতেই প্রতিষ্ঠিত হয় তত্ত্ব (theory)।

বিজ্ঞানশিক্ষার্থীদের কাছে পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণের প্রয়োজনীয়তা ও গুরুত্ব অসীম। যদিও পরীক্ষালব্ধ নানা তথ্য ও তত্ত্ব সুবিদিত, তথাপি বিজ্ঞানশিক্ষার্থীরা যদি নিজহাতে বিজ্ঞানাগারে পরীক্ষাদ্বারা সেই সব তত্ত্ব ও সূত্রগুলির সত্যতা পুনরায় অনুধাবন করে, তাহা হইলে বিজ্ঞানশিক্ষা তাদের নিকট আকর্ষণীয় ও সার্থক হইয়া উঠে, কারণ শুধুমাত্র পুঁথিগত কতকগুলি সূত্র ও তত্ত্ব মুখস্থ করার মধ্য দিয়া বিজ্ঞান-শিক্ষার প্রয়াস নিরর্থক। হাতে-কলমে কাজ করিতে না শিখিলে, শিক্ষা হয় অসম্পূর্ণ। ভবিষ্যতে বিজ্ঞানের অগ্রগতিকে সার্থকভাবে সাহায্য করিতে হইলে, শিক্ষাজীবনে ব্যবহারিক শিক্ষার সূচনা হয় পরীক্ষাগারেই। সেজন্য বিজ্ঞানশিক্ষার্থীদের ক্ষেত্রে, ব্যবহারিক শিক্ষা ব্যতিরেকে, শিক্ষা কখনোই সম্পূর্ণ হইতে পারে না।

পদার্থবিজ্ঞানকে 'পরিমাপের বিজ্ঞান' বলা হয়। বিজ্ঞানের সকল শাখাতেই পরিমাপের একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে। পরিমাপে সক্ষম না হইলে, কোনো বিষয়ে বৈজ্ঞানিক জ্ঞান কখনোই সম্পূর্ণ হয় না। এই প্রসঙ্গে প্রখ্যাত বিজ্ঞানী লর্ড কেল্‌ভিনের এক উক্তি উল্লেখযোগ্য।

"যাহার কথা বলিতেছ, তাহা যখন মাপিতে পার এবং সংখ্যার দ্বারা প্রকাশ করিতে পার, তখন উহা সম্বন্ধে কিছুটা জ্ঞান বলা যায়। কিন্তু যখন উহাকে সংখ্যার সাহায্যে প্রকাশ করিতে পার না, তখন তোমার জ্ঞান নগণ্য ও অসন্তোষজনক। বিষয় যাহাই হউক-না-কেন, ইহাকে জ্ঞানের প্রারম্ভ বলা যায়। কিন্তু তুমি বিজ্ঞানের সোপানে উন্নীত হইয়াছ, এরূপ কখনো বলা যায় না।"

সুতরাং বিজ্ঞানের প্রতিটি ছাত্রছাত্রীরই পরীক্ষাগারে হাতে-কলমে কাজ করার

অভিজ্ঞতা হওয়া প্রয়োজন এবং সেই প্রসঙ্গে বিভিন্ন যন্ত্র ও তাহাদের কার্যনীতির সঙ্গেও সম্যকভাবে পরিচিত হওয়া একান্ত প্রয়োজন। এই সব যন্ত্র ব্যবহারের মাধ্যমে শিক্ষার্থীদের ব্যবহারিক নৈপুণ্য বাড়ে ও বৈজ্ঞানিক দৃষ্টিভঙ্গী গড়িয়া উঠে।

পরীক্ষাকার্যের উদ্দেশ্য (Objective of an Experiment)

কোন পরীক্ষাকার্য শুরু করার পূর্বে, ঐ পরীক্ষার মূল উদ্দেশ্য (objective) কি, সে-সম্বন্ধে একটা সুস্পষ্ট ধারণা থাকা প্রয়োজন। বিজ্ঞানের পরীক্ষাগুলিকে মোটামুটি দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। (১) পরিমাণভিত্তিক (quantitative) ও (২) গুণভিত্তিক (qualitative)। গুণভিত্তিক পরীক্ষার পর্যবেক্ষণীয় বিষয় হইল, পদার্থের কতকগুলি গুণ, যাহা পরীক্ষার সাহায্যে লক্ষ্য করা সম্ভব। কিন্তু পরিমাণভিত্তিক পরীক্ষায়, বিভিন্ন মাপজোখেরই প্রাধান্য থাকে। এই মাপজোখের সাহায্যেই কখনো কোন সূত্রের সত্যতা যাচাই বা কখনো কোন ভৌতিক রাশির মান নির্ণয় ইত্যাদি করা হইয়া থাকে। সেজন্য পদার্থবিদ্যার পরীক্ষাগারে পরিমাণ-ভিত্তিক পরীক্ষারই প্রাধান্য বেশী কারণ, পদার্থবিদ্যার সূত্রগুলি মূলতঃ পরিমাণভিত্তিক। সেজন্য তাহাদের সত্যতা নিরূপণ সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলিও হয় পরিমাণভিত্তিক। পদার্থবিদ্যার পরীক্ষাকার্যগুলির নানাপ্রকার উদ্দেশ্য থাকিতে পারে, সাধারণভাবে সেগুলি হইল :

(ক) কোন ভৌতিক ধ্রুবকরাশির মান নির্ণয় : যেমন, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় ; স্টিফান ধ্রুবক নির্ণয় ; জলের প্রতিসরাঙ্ক গুণাঙ্ক নির্ণয়, ইত্যাদি।

(খ) বস্তুসংশ্লিষ্ট কোন ধর্মীয় মান নির্ণয় : যেমন, ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয় ; লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয়, আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়, ইত্যাদি।

(গ) দুইটি ভৌতরাশির তুলনামূলক বিচার : যেমন, দুইটি তড়িৎকোষের বিভবপ্রভেদের অনুপাত ; দুইটি তারের রোধের মানের অনুপাত নির্ণয়, ইত্যাদি।

(ঘ) তাত্ত্বিক সূত্রের সত্যতা নিরূপণ : যেমন, জুরিনের সূত্র, ষ্টোক্‌স্-এর সূত্র, ওহমের সূত্র, ইত্যাদি।

বস্তুতঃ, পদার্থবিদ্যার সাধারণ সূত্রগুলির সবগুলিই পরীক্ষিত হইয়াছে এবং ভৌতিক রাশিগুলিরও মান অতি সূক্ষ্মভাবে নির্ণীত হইয়াছে, সেক্ষেত্রে, প্রশ্ন উঠিতে পারে যে, তাহা হইলে পুনরায় পরীক্ষাগারে পরীক্ষার সাহায্যে ঐ সূত্রগুলির সত্যতা নিরূপণের সার্থকতা কি বা, ধ্রুবরাশিগুলির পুনরায় মান নির্ণয়ের প্রয়োজনীয়তাই বা কি ? প্রকৃতপক্ষে, পদার্থবিদ্যার ব্যবহারিক পরীক্ষার দ্বারা ছাত্ররা তাহাদের অধীত বিদ্যায় যে-সকল যন্ত্রের কথা শুনে বা কারিগরী শিক্ষা বা শিল্পে যে-সকল যন্ত্রাদি ব্যবহৃত হয়, সেই যন্ত্রগুলিতে হাতে নাড়াচাড়া করিয়া সম্যক্ জ্ঞানলাভ করে এবং যন্ত্রগুলির সহিত নিজেদেরকে পরিচিত করিতে পারে। এছাড়াও, পরীক্ষাগারে যন্ত্রাদির সাহায্যে পরীক্ষাকার্য সম্পন্ন করিলে, ছাত্ররা নিয়মানুবর্তিতা, ধারাবাহিকতা ও পারদর্শিতা বিষয়ে যথেষ্ট জ্ঞানলাভ করে এবং তাহাদের মধ্যে এক বৈজ্ঞানিক

চেতনার উন্মেষ ঘটে। পরীক্ষাগারে নিয়মিত কাজ করার ফলে, তাহাদের ভিতর ধৈর্য, পর্যবেক্ষণ ক্ষমতা ও যুক্তিগ্রাহ্যতা প্রভৃতি ধর্মগুলি প্রকাশ পায়, যাহা তাহাদের ভবিষ্যৎ জীবনে স্বাধীনভাবে চিন্তা করার ও সিদ্ধান্ত লওয়ার ব্যাপারে সহায়ক হয়। এই সকল ধর্মের উন্মেষের মধ্যেই থাকে, ব্যবহারিক শিক্ষার বাস্তব সার্থকতা। সেজন্য বিজ্ঞানশিক্ষার্থীর ক্ষেত্রে, পরীক্ষাগারে ব্যবহারিক প্রয়োগরীতি সম্বন্ধে সম্যক্ জ্ঞানলাভ করা এক বিরাট শিক্ষা, যাহা ব্যতিরেকে বিজ্ঞানশিক্ষা অসম্পূর্ণ থাকিতে বাধ্য।

1.2 সাধারণ নির্দেশাবলী (General Instructions)

পরীক্ষাগারে কাজ সুরু করার পূর্বে ছাত্রদের একটি বিষয়ে সুনিশ্চিত হইতে হইবে যে, তাহাদের পরীক্ষাটির মূল উদ্দেশ্য কি। কাজের মধ্যে কোন ব্যস্ততা বা অবহেলার ভাব থাকা কখনোই উচিত নয়। পরীক্ষাটিকে ঠিকমত সফলভাবে সম্পন্ন করিতে হইলে, পরীক্ষাসংশ্লিষ্ট মূলতত্ত্ব সম্বন্ধে খুব পরিষ্কার জ্ঞান থাকা একান্ত প্রয়োজন। ইহার ফলে, পরীক্ষাকার্যের প্রতিটি ধারা (steps) পর্যবেক্ষকের নিকট পরিষ্কার হইয়া যায়। একথা স্মরণ রাখা প্রয়োজন যে, পরীক্ষাকার্য শুরু করার পূর্বে, পরীক্ষাসংক্রান্ত যদি কোন মানসিক কুসংস্কার অথবা পক্ষপাতিত্ব থাকে, তাহা হইলে পরীক্ষাটি সফলতালাভে ব্যর্থ হইতে পারে। সেজন্য পরীক্ষাকার্য চালানোর সময়ে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্বন্ধে যথেষ্ট অবহিত হওয়া প্রয়োজন।

(ক) নির্দিষ্ট পরীক্ষাটি সম্বন্ধে তাত্ত্বিকজ্ঞান পরিষ্কারভাবে থাকা উচিত।

(খ) নির্দিষ্ট পরীক্ষাটিতে যে-সকল যন্ত্রাদি ব্যবহৃত হইবে, সেগুলির কার্যবিধি জানা উচিত।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রগুলিকে যথাযথভাবে টেবিলে সাজানো প্রয়োজন, যাহাতে পরীক্ষায় পাঠগ্রহণের (readings) কাজ অনায়াসে করা যায়।

(ঘ) পরীক্ষার মূল কাজটি শুরু করিবার পূর্বে, কিভাবে কাজটি সম্পন্ন করিবে, সে-সম্বন্ধে একটি মানসিক ধারণা আগেই করিয়া লওয়া প্রয়োজন।

(ঙ) পাঠগ্রহণের সময়ে, অবস্থার সামান্য পরিবর্তন করিয়া, **একই পাঠের** পুনঃ পুনঃ মান গ্রহণ করা উচিত (repeatation of data)। এর ফলে, নিরীক্ষাকালে পাঠগ্রহণে **অনিয়মানুগ** বা **অক্রম ত্রুটি** (random error) হ্রাস পায়।

(চ) প্রয়োজন ও সুবিধামত, অবস্থার পরিবর্তন-সাপেক্ষে **সমগ্র** পরীক্ষাকার্যটি পুনঃ পুনঃ করা প্রয়োজন (repeatation)। ইহাতে পরীক্ষার **সুশৃংখল** বা **নিয়মিত ত্রুটি** (systematic error) যথেষ্ট হ্রাস পায়।

(ছ) পরীক্ষায় লব্ধ সমস্ত পাঠ (data) একটি যথার্থ শিরোনামের সাহায্যে, সারণীর (table) মাধ্যমে লিপিবদ্ধ করা প্রয়োজন। প্রতিটি পাঠের নির্দিষ্ট একক সহ (unit), যে শৃংখলক্রমে সেইগুলি গৃহীত হইয়াছে, ঠিক সেই পর্যায়ে সেগুলি নথীভুক্ত করা প্রয়োজন।

(জ) ভৌতিক রাশিগুলি লিপিবদ্ধ করার সময়ে, তাহাদের সঠিকতা (accuracy) নির্ণয়ের ব্যাপারে সচেতন থাকা উচিত। যে যন্ত্রের সাহায্যে ঐ রাশিটির মান নির্ণয় করা হইয়াছে, সেই যন্ত্র যে মান পর্যন্ত নির্ভুলভাবে পাঠ দিতে পারে, রাশিটির মানও ঠিক সেই মান পর্যন্ত রাখা উচিত। পাঠলিপিবদ্ধ করাকালীন, তাহার অধিক মান লিপিবদ্ধ করিলে, রাশিটির মানের সঠিকতা কখনোই বৃদ্ধি পায় না।

(ঝ) পরীক্ষালব্ধ ফল যখনই সম্ভব, লেখচিত্রের (graph) সাহায্যে প্রকাশ করা উচিত। সারণী মাধ্যমে প্রকাশ অপেক্ষা, লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশিত হইলে, ফল অনেক সহজেই অনুধাবন করা যায়।

(ঞ) পরীক্ষাকালে বিভিন্ন পরিমাপের সময়ে নানাপ্রকার ভুলত্রুটি হইতে পারে। সেই সব সম্ভাব্য ভুলত্রুটি সম্বন্ধে এবং তাহাদের উৎস সম্বন্ধে পরীক্ষাকালে বিশেষভাবে অবহিত থাকা উচিত। ইহাতে পরীক্ষাকালে কোন্ কোন্ রাশি পরিমাপের সময়ে বিশেষ দৃষ্টি বা নজর দেওয়া উচিত, সে-সম্বন্ধে একটি সুস্পষ্ট ধারণা পূর্ব হইতেই পাওয়া যায়।

সুষ্ঠুভাবে পরীক্ষাকার্য সমাপন ও পাঠ যথাযথভাবে লিপিবদ্ধ করার জন্য কিছু নির্দেশাবলী

বিজ্ঞানের পরীক্ষার সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হইল, পরীক্ষাকালীন পর্যবেক্ষণ (observation) ও পরীক্ষাকালে প্রতিটি ব্যাপারে, সূক্ষ্ম নিরীক্ষণ মাধ্যমে নির্ভরযোগ্য উপাত্ত (data) সংগ্রহ করা। পরীক্ষালব্ধ এই সকল উপাত্ত ও তথ্যাদির যথাযথ ব্যাখ্যা করিয়া সঠিক সিদ্ধান্তে (inference) আসিতে হয়, সেইজন্য, এই উপাত্তগুলিকে অত্যন্ত সুশৃঙ্খলভাবে লিপিবদ্ধ করা প্রয়োজন, এবং লিপিবদ্ধ করার কাজে, সারণীর সাহায্য (tabular form) লওয়া বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। পর্যবেক্ষণকালীন সকল উপাত্ত ও তথ্যাদি যদিও পরীক্ষাগারে একটি রাফ খাতায় সাধারণতঃ লওয়া হইয়া থাকে, তবে ঐ সকল তথ্য পরে একটি পাকা খাতায় (fair laboratory notebook) লিপিবদ্ধ করিতে হয়। একথা অবশ্যই মনে রাখা প্রয়োজন যে, পরীক্ষাগারে খাতার পরিবর্তে কখনোই টুকরা কাগজে (loose sheet) তথ্যাদি লিপিবদ্ধ করা উচিত নয়। পাকা খাতায় বিভিন্ন দফায় সমগ্র পরীক্ষাকার্যটি নিম্নে বর্ণিত ক্রমানুসারে লিপিবদ্ধ করা প্রয়োজন।

(i) **শিরোনাম ও তারিখ** : নির্দিষ্ট পরীক্ষাকার্যের প্রকৃত উদ্দেশ্য (objective) কি, তাহা যথাযথভাবে শিরোনাম হিসাবে (heading) লেখা প্রয়োজন। যে-তারিখে বা তারিখগুলিতে পরীক্ষাটি করা হইয়াছে, সেই তারিখ শিরোনামের বামপার্শ্বের মার্জিনে লিখিতে হইবে।

(ii) **মূলতত্ত্ব (Theory)** : পরীক্ষাটি সম্পন্ন করিতে যে-তত্ত্ব ব্যবহৃত হইবে অথবা যে-গাণিতিক সূত্র হইতে পরীক্ষাধীন রাশির মান নির্ণয় করা হইবে, সংক্ষেপে

সেই তত্ত্বের বা সূত্রের (working formula) উল্লেখ করিতে হইবে। সূত্রে ব্যবহৃত প্রতীকচিহ্নগুলি (symbols) কোন্‌টি কোন্‌ রাশি নির্দেশ করিতেছে, মূলতত্ত্বে তাহার উল্লেখ বিশেষ প্রয়োজন। সূত্রটি কিভাবে পাওয়া গিয়াছে তাহা বিস্তারিতভাবে আলোচনা করার কোন প্রয়োজন নাই।

(iii) **যন্ত্রাদি** (Apparatus): পরীক্ষাটি সম্পন্ন করিতে যে-সকল যন্ত্রাদি ও সরঞ্জাম প্রয়োজন, তাহাদের উল্লেখ করিতে হইবে। ঐ যন্ত্রাদি বা সরঞ্জামের বিবরণ দেওয়ার প্রয়োজন নাই। প্রয়োজনবোধে কোন কোন যান্ত্রিক ব্যবস্থার চিত্রাঙ্কন করা যাইতে পারে, তবে বিদ্যুৎসংক্রান্ত সকল পরীক্ষার (electrical experiments), বৈদ্যুতিক বর্তনীর চিত্র **অবশ্যই** আঁকিতে হইবে এবং যন্ত্রের বিভিন্ন অংশগুলিকে চিহ্নিত করিতে হইবে। এই চিত্রগুলি সর্বদা পেন্সিলের সাহায্য অঙ্কন করা উচিত।

(iv) **পদ্ধতি** (Procedure): পরীক্ষাটি যে পদ্ধতি অনুসরণ করিয়া সম্পন্ন করা হয়, এখানে তাহাই লিপিবদ্ধ করা হয়। প্রত্যেক পরীক্ষাতেই কয়েকটি সুনির্দিষ্ট ধাপ (steps) অনুসরণ করিতে হয়। নোটবুকে পরীক্ষাবিবরণী লিপিবদ্ধ করিবার সময়ে পরীক্ষার প্রতিটি ধাপকে পৃথক পৃথক ভাবে লিখিতে হইবে। এ-প্রসঙ্গে মনে রাখা প্রয়োজন যে, প্রকৃত পরীক্ষাকার্যে যে-ধাপগুলি অনুসৃত হইয়াছে পরীক্ষাপদ্ধতি বর্ণনায় ঠিক তাহাই লিপিবদ্ধ করা উচিত।

(v) উপাত্ত (Data): পরীক্ষায় গৃহীত পাঠগুলি সুশৃঙ্খল ও তালিকাবদ্ধ-ভাবে (tabular form) এই অংশে লেখা হয়। ইহা অত্যন্ত প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ অংশ। পাঠতালিকায় স্তম্ভের (column) আকারে পর্যবেক্ষিত বিষয়টি তাহার যথাযথ এককসহ (unit) লিপিবদ্ধ করিতে হয়। প্রত্যেকটি পাঠের ক্ষেত্রে, **তাহার এককের (যদি থাকে) উল্লেখ করা অবশ্যই কর্তব্য।** যদি কখনো কোন পাঠ লিখিতে ভুল হয়, বা ভুল বলিয়া অনুমিত হয়, তাহা হইলে ঐ পাঠের উপর **উপরিলিখন** (overwriting) **কখনোই করা উচিত নয়।** ভুল লেখাটি একটি লাইন দ্বারা কাটিয়া দিয়া, শুদ্ধ পাঠটি লেখা উচিত। পরীক্ষাকালে যে-ক্রমানুসারে পাঠ গৃহীত হয়, ঠিক সেই ক্রমানুসারেই পাঠগুলি লিপিবদ্ধ করিতে হইবে।

(vi) **গণনা** (Calculations): মূলতত্ত্বে ব্যবহৃত গাণিতিক সূত্রের সাহায্যে লব্ধ উপাত্তগুলি ব্যবহার করিয়া ফলাফল পরিষ্কারভাবে গণনা করা প্রয়োজন, এবং গণনার ফল (results) ডানদিকের পৃষ্ঠায় পরিষ্কারভাবে যথাযথ একক সহ (units) উল্লেখ করিতে হইবে। গণনাকার্য যথাসম্ভব লগারিদম্‌ তালিকার (log tables) সাহায্যে করা বাঞ্ছনীয়। সমস্ত গণনাকার্য খাতার বামপৃষ্ঠায় পেন্সিলের সাহায্যে দেখানো ভাল। শুধু চূড়ান্ত ফলটিকে (final result) ডানদিকের পৃষ্ঠায়, তাহার এককসহ উল্লেখ করিতে হইবে। মনে রাখিতে হইবে যে, গণনাকার্য প্রকৃতপক্ষে মূল পরীক্ষারই একটি বিশেষ অঙ্গ। সেজন্য গণনার প্রতিটি ধাপ পরিষ্কারভাবে লিপিবদ্ধ থাকা প্রয়োজন। অপরিচ্ছন্নভাবে বা তাচ্ছিল্যসহকারে গণনাকার্য

কখনোই করা উচিত নয়। এ-প্রসঙ্গে একটি কথা মনে রাখা প্রয়োজন যে, পরীক্ষাকার্যে সঠিক ও সূক্ষ্মমান নির্ণয় করা অপেক্ষা সততা, বুদ্ধিমত্তা ও বিচক্ষণতার মূল্য অনেক বেশী।

(vii) **লেখচিত্র** (Graphs) : যে-সকল পরীক্ষায় লব্ধ উপাত্ত পাঠগুলিকে পরস্পর লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা সম্ভব, সেক্ষেত্রে সর্বদাই লেখচিত্র অঙ্কন করা প্রয়োজন। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, পরীক্ষালব্ধ ফল সারণী আকারে প্রকাশিত হওয়া অপেক্ষা লেখচিত্রের মাধ্যমে প্রকাশিত হইলে অনেক বেশী বিজ্ঞানসম্মত ও সহজবোধ্য হয়।

(viii) **সতর্কতা** (Precaution) : প্রত্যেক পরীক্ষায় কতকগুলি সতর্কতা বা সাবধানতা অবলম্বন করিতে হয়। এগুলি অবলম্বন না করিলে, পরীক্ষালব্ধ পাঠগুলিতে যথেষ্ট ভুল থাকার সম্ভাবনা থাকে। একটি নির্দিষ্ট পরীক্ষাকার্যে কি কি বিষয়ে সতর্কতা অবলম্বন করা হইয়াছে, তাহা অবশ্যই উল্লেখ করা প্রয়োজন।

(ix) **আলোচনা** (Discussions) : পরীক্ষাটিতে কোন বিশেষ যান্ত্রিক ত্রুটির জন্য কোন ভুলের মাত্রা অধিক হইয়া থাকিলে অথবা পরীক্ষাসংশ্লিষ্ট কোন বিষয় সম্বন্ধে বিশেষ মন্তব্য করিবার প্রয়োজন থাকিলে, এই পর্যায়ে তাহা করা যাইতে পারে। ফলাফল সম্বন্ধেও কোন আলোচনা করিবার থাকিলে এই পর্যায়ে তাহা করা যাইতে পারে।

(x) **ত্রুটি নিরূপণ** (Error calculation) : পরীক্ষালব্ধ চূড়ান্ত ফলে কি পরিমাণ সম্ভাব্য ত্রুটি থাকিতে পারে এবং প্রকৃত ত্রুটি কতখানি হইয়াছে, সে-সম্বন্ধে আলোচনা ও গণনা করা একান্ত প্রয়োজন। ত্রুটি কয়প্রকার হইতে পারে এবং তাহাদের পরিমাণ কিভাবে নির্ণয় করা যায়, সে-সম্বন্ধে পরে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।

13 লেখচিত্র অঙ্কন (Drawing of Graphs) :

পদার্থবিদ্যায় লেখচিত্রের একটি বিশেষ গুরুত্ব আছে। লেখচিত্রের সাহায্যে দুইটি ভৌতরাশির ভিতরকার সম্পর্ক অতি সুন্দর ও সহজভাবে প্রকাশ করা যায়। একটি ভৌতরাশির কোন নির্দিষ্ট মানের জন্য অপর রাশিটির মান কত হইবে, অথবা একটি রাশি পরিবর্তিত হইলে, অপর রাশিটি কিরূপভাবে পরিবর্তিত হইবে, তাহা লেখচিত্র বিশ্লেষণ করিয়া সহজেই বুঝা যায়। যে-কোন লেখচিত্র অঙ্কনের সময়ে নিম্নলিখিত নির্দেশগুলি অনুসরণ করা উচিত।

(i) যে দুইটি ভৌতরাশির সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়, তাহাদের মধ্যে একটি **স্বাধীন চলরাশি** (independent variable) এবং অপরটি **অধীন চলরাশি** (dependent variable)। গুরুত্বের দিক হইতে যদিও ইহাদের মধ্যে কোন পার্থক্য নাই, তথাপি সাধারণতঃ পরীক্ষাকালে যে রাশিটির মান স্বাধীনভাবে পরিবর্তন করা যায়, তাহাকে স্বাধীন চলরাশি এবং অপরটিকে অধীন

চলরাশি বলে। লেখচিত্রে স্বাধীন চলরাশিকে সর্বদা X-অক্ষ বরাবর এবং অধীন চলরাশিকে Y-অক্ষ বরাবর সূচীত করা হয়।

(ii) অক্ষদুইটির মূলবিন্দুতে (origin) চলরাশি দুইটি (O, O) মান যে সর্বদাই নির্দেশ করিতে হইবে, এমন কোন বাধ্যবাধকতা নাই। মূলবিন্দুর মান অনায়াসেই, চলরাশি দুইটির সর্বনিম্ন মানের সমান অথবা তাহা হইতে কিছু কম লওয়া যাইতে পারে।

(iii) ভুজ ও কোটি (abscissae-ordinate) উভয় অক্ষের ক্ষেত্রেই যথাযথভাবে স্কেল নির্ধারণ করিতে হইবে এবং লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, চলরাশি দুইটির সবকয়টি মানই যেন লেখচিত্রের মধ্যে থাকে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে অক্ষগুলির প্রান্তিক মানগুলি এরূপভাবে নির্ধারণ করা প্রয়োজন যে, যেন লেখচিত্রের অধিকাংশ অংশই ব্যবহৃত হয় এবং ছক কাগজের ক্ষুদ্রতম ঘর প্রাসঙ্গিক রাশিটির একটি সুবিধাজনক মানের সহিত সহজ অনুপাত হয়।

(iv) অক্ষ দুইটি বরাবর নিয়মিত দূরত্বে চলরাশিগুলির মান নির্দেশ করিতে হইবে যাহার ফলে লেখচিত্রে কোন চিহ্নকে চিহ্নিত করিতে হইলে, প্রতিবার মূলবিন্দু হইতে ঘর গণনা করিতে হয় না।

(v) চলরাশি দুইটির বিভিন্ন মান অনুযায়ী, ছক কাগজে নির্দিষ্ট বিন্দুটির স্থানে একটি ফুটকি (dot) দিয়া উহাকে ঘিরিয়া একটি ছোট বৃত্তীয় বেষ্টনী (dotted circle) দেওয়া হয়।

(vi) বিভিন্ন বিন্দুকে ছক কাগজে চিহ্নিত করিবার পর, তাহাদিগকে একটি রেখার সাহায্যে যুক্ত করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিতে হয়। বিভিন্ন বিন্দুকে স্কেলের সাহায্যে হয়ত সর্বদা একটি সরলরেখা দ্বারা যুক্ত করা যায় না। কারণ দুইটি ভৌত রাশির সম্পর্ক সর্বদা সরলরৈখিক (linear) নাও হইতে পারে। সেক্ষেত্রে বিন্দুগুলির মধ্য দিয়া মুক্ত হাতে (free hand) এমন একটি একটানা (continuous) রেখা টানিতে হয়, যাহাতে লেখচিত্রের নির্দিষ্ট বিন্দুগুলির অধিকাংশই সেই রেখায় থাকে। কিন্তু এরূপ মুক্তহস্ত রেখাঙ্কনে যেন কোন সময়েই কোথাও কোন আকস্মিক বাঁক (change of curvature) না থাকে, সে-বিষয়ে বিশেষ দৃষ্টি দেওয়া প্রয়োজন। আর যদি কোন বিন্দু বা একাধিক বিন্দু ঐ রেখার উপর না থাকে, তাহা হইলে রেখাটি এমনভাবে অঙ্কন করা প্রয়োজন যেন, অঙ্কিত রেখাটির উপরে ও নীচে যথাসম্ভব সমান সংখ্যক বিন্দু থাকে। আবার যদি কোন একটি বিন্দুর মধ্য দিয়া রেখাটি অঙ্কন করিতে হইলে, রেখাটি আকস্মিকভাবে অনেকখানি বাঁকিয়া যায়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, ঐ বিন্দুটি স্থির করিবার সময়ে পরীক্ষাকার্যে যথেষ্ট ত্রুটি ঘটিয়াছে, সেক্ষেত্রে লেখচিত্র অঙ্কনে ঐ বিন্দুটি সর্বদাই বর্জন করা উচিত।

(vii) লেখচিত্র অঙ্কন করিবার সময়ে কখনোই কালি ব্যবহার করা উচিত নয়।

(viii) লেখচিত্র হইতে কোন রাশির চূড়ান্ত মান নির্ধারণ করিতে হইলে,

সংশ্লিষ্ট সেই বিন্দুটি চিহ্নিত করা উচিত এবং ঐ বিন্দুর সংশ্লিষ্ট ভুজ ও কোটির মান ভাঙা সরলরেখার (broken lines) সাহায্যে নির্দেশ করা উচিত।

(ix) সবশেষে মনে রাখিতে হইবে যে, লেখচিত্র অঙ্কনে ইঞ্চি ছক কাগজ (inch graph paper) অপেক্ষা মিলিমিটার ছক কাগজ (millimetre graph paper) ব্যবহার করা অনেক সুবিধাজনক ও বাঞ্ছনীয়।

1·4 পরিমাপে ভ্রম, উহার সীমানা ও উহা ন্যূনতম করিবার উপায় (Errors in measurement, their limits and how to minimise them)

পরীক্ষাগারে বিভিন্ন পরীক্ষকার্য চালাইবার সময়ে যে-সকল পরিমাপ করা হইয়া থাকে, সেগুলিতে নানাপ্রকার ভুলভ্রান্তি থাকিতে পারে। এই ভুলভ্রান্তি নানাবিধ কারণে ঘটিয়া থাকে। পরীক্ষাকালে কোন সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা অথবা কোন ভৌত রাশির মান নির্ণয় করিবার সময়ে, সূত্রটি ভুলের সীমানার মধ্যে প্রমাণিত হইয়াছে কিনা অথবা রাশিটির মান প্রামাণিক মানের (standard values) কতটা কাছাকাছি হইয়াছে, ইহাই মূল বিবেচ্য বিষয়। উভয় ক্ষেত্রেই ভুলের সীমানা পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রাদির সীমাবদ্ধতার উপর নির্ভর করে। সূত্রের মধ্যস্থ রাশিগুলি মাপিবার সময়ে যে বিভিন্নপ্রকার ভুলভ্রান্তি হইতে পারে, সেগুলিকে মোটামুটি দুইভাগে ভাগ করা যাইতে পারে। (ক) অনিয়মানুগ বা অক্রম ত্রুটি (random errors) এবং (খ) সুশৃংখল বা নিয়মিত ত্রুটি (systematic errors)।

(i) অনিয়মানুগ ত্রুটি (Random Errors)

পরীক্ষায় পর্যবেক্ষণকালে কোন ভৌত অবস্থার সামান্য পরিবর্তন ঘটিলে বা যন্ত্রের অবস্থার পরিবর্তন হইলে, অথবা পর্যবেক্ষকের পর্যবেক্ষণ-ত্রুটির জন্য, পরিমাপের মধ্যে যে ভুল আসে, তাহাকে 'অনিয়মানুগ ত্রুটি' বলে। এই ধরনের ত্রুটি কখনো ধনাত্মক, কখনো ঋণাত্মক হয় বলিয়া, পরীক্ষালব্ধ ফলগুলির গাণিতিক গড় (arithmetic mean) লইলে, এই ত্রুটির মান কম হইবে। প্রকৃতপক্ষে, ঐ গড় মান পরীক্ষাধীন রাশির প্রকৃত মানের খুব কাছাকাছি থাকিবে। সেজন্য অনিয়মানুগ ত্রুটির মান কম করিতে হইলে, একই রাশির পরিমাপ বারবার লইয়া, তাহাদের গাণিতিক গড় নির্ণয় করিতে হয়। এই গড় মান, রাশিটির প্রকৃত পরিমাপ হইবে। উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে, কোন মিটার স্কেলে এক মিলিমিটার অপেক্ষা সূক্ষ্ম মাপ সম্ভব নয়। সুতরাং দৈর্ঘ্য মাপিবার সময়ে সূচকটি সন্নিহিত দাগের মাঝামাঝি থাকে, তখন সূচকের অবস্থানের সঠিক পাঠ লওয়া সম্ভব নয়। এই কারণে ঐ পরিমাপে যে ভুল আসে, তাহা অনিয়মানুগ ভুল। এই প্রসঙ্গে উল্লেখযোগ্য যে, পর্যবেক্ষণকালে যদি দুই-একটি পরিমাপের মান অন্যগুলি হইতে খুব বেশী বা খুব কম হয়, তাহা হইলে গড় লইবার সময়ে ঐ ফলগুলিকে উপেক্ষা করিতে হয়।

(ii) **নিয়মানুগ ত্রুটি** (Systematic Errors)

পরীক্ষাকালে কোন কোন ত্রুটির ফলে, পরীক্ষাধীন রাশির পরীক্ষালব্ধ ফল সর্বদাই এবং নিয়মিতভাবে (systematically) রাশিটির প্রকৃত মান অপেক্ষা কম বা বেশী হইতে পারে। এরূপ ত্রুটিকে নিয়মানুগ ত্রুটি বলে। এরূপ ভুলের জন্য রাশির নির্ণীত পরিমাপ উহার প্রকৃত মান অপেক্ষা, হয় নিয়মিতভাবে কম হইবে, নয়ত নিয়মিতভাবে বেশী হইবে। পরীক্ষাকার্যে সমস্ত প্রকার যান্ত্রিক ভুলই (instrumental error) এই ত্রুটির অন্তর্গত। এই ত্রুটি এড়ানোর জন্য, বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়।

(a) কোন কোন ক্ষেত্রে এই ত্রুটিকে পূর্ব হইতেই নির্ণয় করিয়া রাখা হয় এবং সেই অনুসারে পরীক্ষালব্ধ ফলগুলির সংশোধন করিয়া লওয়া হয়। যেমন, স্ক্রু গেজ, স্লাইড ক্যালিপার্স-এর ক্ষেত্রে শূন্যদাগের ভুল (zero error), মিটার ব্রীজের প্রান্তিক ত্রুটি (end error) বা অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চের সূচক-ত্রুটি (index error) প্রভৃতি নিয়মানুগ ত্রুটির উদাহরণ।

(b) কোন কোন ক্ষেত্রে বিভিন্ন অবস্থায় পরীক্ষাকার্যটি পুনরাবৃত্তি করিয়াও এই ত্রুটি এড়ানো যায়। যেমন, আর্দ্র বায়ুতে শব্দের গতিবেগ নির্ণয়ের সময়ে প্রান্তীয় ত্রুটি এড়াইবার জন্য অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের প্রথম ও দ্বিতীয় দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

(c) পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত (data) হইতেও অনেক সময়ে এই ত্রুটির প্রয়োজনীয় সংশোধন করিয়া লওয়া যায়। ক্যালারিমিতির মিশ্রণ পদ্ধতি পরীক্ষায়, তাপের বিকিরণজাত ক্ষয় (radiation loss)-এর ফলে পরীক্ষার মানে যে ত্রুটি হয়, তাহা পরীক্ষার সময়ে নির্ণয় না করিয়া, পরীক্ষার পরে স্থির করা হয়। বিভিন্ন সময়ের উষ্ণতার পাঠ হইতে বিকিরণজনিত ত্রুটি সংশোধন করা যায়।

1.5 যাথার্থ্যের মাত্রা, আনুপাতিক ভুল ও শতকরা ভুল (Degree of accuracy, Proportional Error & Percentage Error) :

কোন ভৌতরাশির পরিমাপ কখনোই নিখুঁত ও যথার্থ হইতে পারে না। পরিমাপের যাথার্থ্যের মাত্রা যন্ত্রাদির সূক্ষ্মতা ও পর্যবেক্ষকের দক্ষতার উপর নির্ভর করে। যে-কোন ভৌতরাশি পরিমাপের পর উহা প্রকাশের সময়ে, দশমিক মানের ক্ষেত্রে, ঠিক ততগুলি সংখ্যাই রাখা প্রয়োজন, যতগুলি পর্যন্ত সংশ্লিষ্ট যন্ত্রের দ্বারা পরিমাপ করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, যদি কোন ভোল্টমিটার মাধ্যমে এক ভোল্টের এক-শতাংশ পর্যন্ত পরিমাপ করা যায়, তাহা হইলে ঐ ভোল্টমিটারের সাহায্যে কোন তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল পরিমাপ করিলে, উহার মান দশমিকের পর দুই সংখ্যার অধিক সংখ্যা দ্বারা প্রকাশের কোন সার্থকতা নাই। মনে রাখিতে

হইবে যে, পরিমাপের যন্ত্রাদি যে পরিমাণ সূক্ষ্মতার (accuracy) সহিত পরিমাপ করিতে পারে, লব্ধ ফল তাহার অধিক সূক্ষ্মতার দ্বারা প্রকাশ করার কোন সার্থকতা নাই। কারণ ঐরূপভাবে প্রকাশ করিলে, ঐ মানের শেষের দিকে সংখ্যাগুলি উপেক্ষণীয় (insignificant) হয়।

লব্ধ ফলের মধ্যে ভুলের পরিমাণ কতখানি, তাহার অনপেক্ষ (absolute) মানের গুরুত্ব অপেক্ষা, লব্ধ মানের সাপেক্ষে আনুপাতিক ভুলের পরিমাণ কতখানি সেটিই অনেক বেশী গুরুত্বপূর্ণ।

সাপেক্ষ বা আনুপাতিক ভুলের পরিমাণ হইল

$$\text{আনুপাতিক ভুল (Proportional Error)} = \frac{\text{প্রকৃত ভুলের পরিমাণ}}{\text{লব্ধ মানের পরিমাণ}}$$

$$\text{এবং, শতকরা ভুল (Percentage Error)} = \frac{\text{প্রকৃত ভুলের পরিমাণ}}{\text{লব্ধ মানের পরিমাণ}} \times 100$$

$$= \text{আনুপাতিক ভুল} \times 100$$

আনুপাতিক ও শতকরা ভুলের পরিমাণ নির্ণয় পদ্ধতি .

মনে কর Q একটি পরিমেয় ভৌতরাশি যাহার সহিত x, y, z প্রভৃতি রাশিগুলির সম্বন্ধ রহিয়াছে এবং ঐ সম্বন্ধ প্রকাশ করা যায় এই সমীকরণ দ্বারা

$$Q = k.x^{\alpha}.y^{\beta}.z^{\gamma} \qquad \cdots\cdots(1\ 1)$$

(k, α, β, γ রাশিগুলি ধ্রুবক)

এখন x, y, z রাশিগুলিকে পরিমাপ করিতে যদি ভুল হয়, তাহা হইলে Q এর পরিমাপেও ভুল হইবে। মনে করা যাউক যে, x, y, z রাশিগুলি পরিমাপের সময়ে সম্ভাব্য ভুল হয় যথাক্রমে $\delta x, \delta y, \delta z$ এবং ফলে, Q রাশিটি পরিমাপে সম্ভাব্য ভুল হয় δQ। সুতরাং, Q রাশি পরিমাপে উহার আনুপাতিক ভুল হইবে $\frac{\delta Q}{Q}$, এই আনুপাতিক ভুল সর্বাপেক্ষা বেশী (maximum) হইবে যখন x, y, z রাশিগুলির ভুল সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। সুতরাং, (1 1) সমীকরণকে লগারিদমিক্ ডিফারেন্সিয়েসানের দ্বারা পাই—

$$\left(\frac{\delta Q}{Q}\right)_{max} = \alpha.\frac{\delta x}{x} + \beta\frac{\delta y}{y} + \gamma\frac{\delta z}{z} \qquad \cdots \quad (1\text{·}2)$$

এখানে α, β, γ ঘাতাংকগুলিকে (powers) ধনাত্মক ধরা হইয়াছে যদিও Q রাশির সহিত x, y, z-এর প্রকৃত সম্পর্কে, ঐ ঘাতাঙ্কগুলির মধ্যে কোন কোনটি ঋণাত্মকও হইতে পারে।

$\frac{\delta x}{x}, \frac{\delta y}{y}, \frac{\delta z}{z}$ প্রভৃতি রাশিগুলি সংশ্লিষ্ট রাশির আনুপাতিক ভুলের পরিমাণ নির্দেশ করে এবং উহাদের প্রত্যেকটিকে 100 দ্বারা গুণ করিলে, সংশ্লিষ্ট রাশিগুলির পরিমাপের

শতকরা ভুল পাওয়া যাইবে। সমীকরণ (1·2) হইতে বুঝা যায় যে, যেহেতু প্রত্যেকটি রাশির আনুপাতিক ভুলের পরিমাণের সহিত যথাক্রমে α, β, γ প্রভৃতি ঘাতাঙ্কগুলির দ্বারা গুণিত হইতেছে, সেজন্য পরিমাপের সময়ে, যে রাশিটির ঘাতাঙ্কের মান যত বেশী, সেই রাশি তত সূক্ষ্মভাবে, যত্নসহকারে ও সতর্কতার সহিত পরিমাপ করা উচিত। একটি উদাহরণের দ্বারা বিষয়টি পরিষ্কার হইবে :

স্থিতীয় পদ্ধতি দ্বারা (statical method) কোন তারের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়ের পরীক্ষায়, l সেমি দৈর্ঘ্যের এবং r ব্যাসার্ধের কোন তারের নিম্নপ্রান্তকে মোচড় দিয়া θ ডিগ্রী ঘুরাইলে, দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক (n) প্রকাশ করা হয় এই সূত্রদ্বারা

$$n = \frac{360}{\pi^2 r^4} gdl \left(\frac{M}{\theta}\right) \qquad \cdots \quad (1·3)$$

মোচড় দিবার জন্য তারের নিম্নপ্রান্তে যে দ্বন্দ্ব (couple) প্রয়োগ করা হয়। তাহাতে দুই সমান্তরাল বিপরীতমুখী বলের প্রত্যেকটির পরিমাণ Mg ডাইন, এবং দ্বন্দ্বের বাহুর পরিমাণ d সেমি।

সমীকরণ (1·3)-কে লগারিদম্ ডিফারেন্সিয়াসেনের সাহায্যে পাওয়া যায়

$$\frac{\delta n}{n} = \frac{\delta d}{d} + \frac{\delta l}{l} - 4\frac{\delta r}{r} \qquad \left(\frac{M}{\theta} \text{ অনুপাতটি পরীক্ষায় ধ্রুবক থাকে}\right)$$

এখন, পরিমেয় n-এর মানের আনুপাতিক ভুলের পরিমাণ $\left(\frac{\delta n}{n}\right)$ সর্বাপেক্ষা কম হইতে হইলে, l ও d-এর মান খুব বেশী হওয়া প্রয়োজন। সেজন্য l ও d-এর মান বেশী লইলে, উহাদের পরিমাপে সামান্য ভুল হইলেও (δd ও δl), দৃঢ়তাগুণাঙ্কের মানে খুব বেশী ভুল হইবে না। কিন্তু r-এর মান সাধারণতঃ খুব কম হয় এবং উহার ঘাতাঙ্ক 4 থাকায়, r-এর পরিমাপে ভুল (δr) সামান্য হইলেও, তাহার জন্য দৃঢ়তা-গুণাঙ্কের মানে যথেষ্ট ভুল হইবে। সেজন্য এই পরীক্ষায় r-এর মান নির্ণয়ের সময়ে যথেষ্ট স্বাধীনতা ও সতর্কতা অবলম্বন করা উচিত। সাধারণতঃ স্ক্রু গজের সাহায্যে তারের ব্যাস মাপা হয় এবং এই যন্ত্র দ্বারা 0·001 সেমি-এর কম দৈর্ঘ্য মাপা যায় না। এখন যদি তারের ব্যাসের পরিমাপ (r) হয় 0·04 সেমি, তাহা হইলে r-এর পরিমাপে শতকরা ভুল হইবে

$$\frac{0·001}{0·04} \times 100 = 2·5\%$$

ইহা দ্বারা দৃঢ়তা-গুণাঙ্কের (n) পরিমাপে ভুল হইবে $4 \times 2·5 = 10\%$। সুতরাং, এই পরীক্ষায় দৃঢ়তা-গুণাঙ্কের মান নির্ভুলভাবে পাইতে হইলে, অত্যন্ত সতর্কতার সহিত তারের ব্যাসার্ধের (r) মান নির্ণয় করা আবশ্যক।

যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental errors)

প্রত্যেক যন্ত্র দ্বারাই পরিমাপের সময়ে সেই যন্ত্রের গঠনপ্রক্রিয়ার জন্য পরিমাপে কিছু ভুল আসিতে পারে। পরীক্ষাকালে, যে যন্ত্রগুলি ব্যবহার করা হয়, সেগুলির কোন্ যন্ত্রটিতে কতখানি ভুল আসিতে পারে, সে-সম্বন্ধে একটি সম্যক্ ধারণা

পর্যবেক্ষকের থাকা উচিত। সাধারণভাবে বহুল ব্যবহৃত কিছু যন্ত্রাদির কাহার কতখানি ভুল আসিতে পারে, তাহা নীচে দেওয়া হইল :

	ভুলের পরিমাণ
স্লাইড ক্যালিপার্স (ভার্নিয়ার ধ্রুবক = 0·01 সেমি)	= 0·01 সেমি
স্ক্রু-গেজ (লঘিষ্ঠ মাপ = 0·001 সেমি)	= 0·001 সেমি
মিটার স্কেল (মিলিমিটার)	= 0·1 সেমি
স্ফেরোমিটার (লঘিষ্ঠ মাপ = 0·001 সেমি)	= 0·002 সেমি
তুলাদণ্ড (সুগ্রাহীতা = 2 মিলিগ্রাম প্রতি ঘরে)	= 2 মিলিগ্রাম
স্টপঘড়ি (0·2 সেকেণ্ড ঘর-বিশিষ্ট)	= 0·4 সেকেণ্ড
থার্মোমিটার (0·1 ডিগ্রী দাগবিশিষ্ট)	= 0·05° (অনুমানে)
,, (0·5 ,, ,,)	= 0·2° (,,)

1.6 গড় ভুল বা বিচ্যুতি, প্রমাণ বিচ্যুতি ও সম্ভাব্য ভুল (Mean Error or Deviation, Standard Deviation and Probable Error)

(i) গড় বিচ্যুতি (Mean Deviation)

কোন রাশিকে সঠিকভাবে পরিমাপ করিবার সময়ে ঐ রাশিটিকে বারবার মাপা যুক্তিগ্রাহ্য। ইহাতে পরিমেয় মাপে ভুলের সম্ভাবনা অনেক কমিয়া যায়। মনে করা যাক যে, কোন একটি রাশি Q-এর মান পরিমাপের সময়ে, n সংখ্যকবার ঐ রাশিটির পাঠ লওয়া হইল। এই পাঠগুলির মান যথাক্রমে $a_1, a_2, a_3, \cdots a_n$। তাহা হইলে, ঐ n-সংখ্যক পাঠের গাণিতিক গড় (arithmetic mean)

$$M = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_n}{n} = \frac{\Sigma a}{n}$$

গাণিতিক গড় (M) হইতে প্রতিটি পৃথক পরিমাপের ভুল বা বিচ্যুতির (deviation) মান যথাক্রমে

$\delta_1 = (a_1 - M)$; $\delta_2 = (a_2 - M) \cdots$ ইত্যাদি।

যদি এই বিচ্যুতিগুলির সাংখ্যিক মানের গাণিতিক গড় A হয়, তাহা হইলে ঐ গড় (A)-এর পরিমাণ (ধনাত্মক-ঋণাত্মক বিবেচনা না করিয়া)

$$A = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \cdots + \delta_n}{n} = \frac{\sum \delta}{n}$$

সুতরাং, গড় বিচ্যুতির মান

$$A = \pm \Sigma\delta/n \quad \cdots \text{একটি মানের ক্ষেত্রে}$$

$$= \pm \Sigma\delta/n\sqrt{n} \quad \cdots\cdots n\text{-সংখ্যক ফলের গড়ের ক্ষেত্রে}$$

অতএব, পরিমেয় রাশিটির প্রকৃত মাপ

$$= (Q \pm A)$$

(ii) **প্রমাণ বিচ্যুতি** (Standard Deviation)

কখনো কখনো বিচ্যুতিগুলির গাণিতিক গড় নির্ণয় না করিয়া, উহাদের বর্গের গড় লইয়া তাহার বর্গমূল নির্ণয় করা হয়; যাহাকে বর্গমাধ্যমূল (r.m.s. value) বলে। এই বর্গমাধ্যমূলের পরিমাণকে **প্রমাণ বিচ্যুতি** (D) বলে।

সুতরাং, প্রমাণ বিচ্যুতি $(D) = \pm\sqrt{\dfrac{\delta_1^2+\delta_2^2+\cdots+\delta_n^2}{n}}$

$$= \pm\sqrt{\frac{\sum\delta^2}{n}}$$

অতএব, পরিমেয় রাশিটির প্রকৃত মাপ

$$=(Q \pm D)$$

(iii) **সম্ভাব্য ভুল** (Probable Error) :

গড়বিচ্যুতি বা প্রমাণবিচ্যুতি নির্ণয় করিলেও, দেখানো যায় যে, প্রকৃতপক্ষে পরিমিত রাশিটির সম্ভাব্য ভুল, উহাদের কোনটিই নয়। হিসাব করিয়া দেখানো যায় যে, যে-কোন পরিমিত রাশির প্রকৃত সম্ভাব্য ভুল (P) এর পরিমাণ

$$P = \frac{2D}{3\sqrt{n}}.$$

সুতরাং পরিমেয় রাশিটির প্রকৃত মাপ $=(Q \pm P)$

উদাহরণ : মনে করা যাক্, একটি তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল (e.m.f.) অনেকবার মাপা হইল। উহাদের মান একেবারে এক না হইলেও, মানগুলির মধ্যে সামান্য পার্থক্য থাকিবেই। নিম্নে উদাহরণ দ্বারা দেখান হইল যে, প্রাপ্ত বিভিন্ন মান হইতে, কিরূপে গড়মান, বিচ্যুতি, গড়বিচ্যুতি, প্রমাণ-বিচ্যুতি ও সম্ভাব্য ভুল নির্ণয় করা যায়।

তড়িচ্চালক বলের মান (E ভোল্ট)	গড় তড়িচ্চালক বল (M ভোল্ট)	বিচ্যুতি (deviation)	গড় বিচ্যুতি (Mean Deviation) (A)	প্রমাণ বিচ্যুতি (Standard Deviation) (D)	সম্ভাব্য ভুল (P) (Probable Error)
$a_1 = 2{\cdot}10$		$\delta_1 = +{\cdot}06$			
$a_2 = 1{\cdot}98$		$\delta_2 = -{\cdot}06$			
$a_3 = 1{\cdot}99$	$M = 2{\cdot}04$	$\delta_3 = -{\cdot}05$	$A = {\cdot}073$		$P = {\cdot}025$
$a_4 = 2{\cdot}20$		$\delta_4 = +{\cdot}16$		$D = {\cdot}091$	
$a_5 = 2{\cdot}00$		$\delta_5 = -{\cdot}01$	$E = 2{\cdot}04$	$E = 2{\cdot}04$	$E = 2{\cdot}04$
$a_6 = 1{\cdot}97$		$\delta_6 = -{\cdot}07$	$\pm{\cdot}07$ ভোল্ট	$\pm{\cdot}091$ ভোল্ট	$\pm{\cdot}025$ ভোল্ট

দ্বিতীয় অধ্যায়

দৈর্ঘ্য ও ভরের পরিমাপ পদ্ধতি

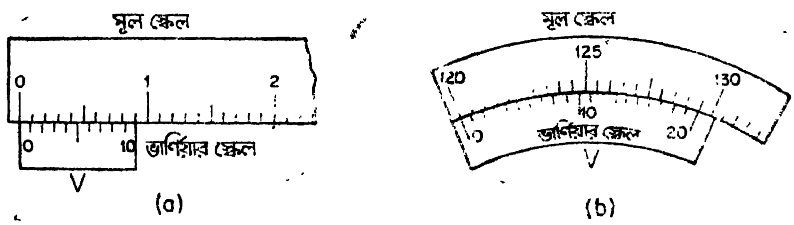
(Methods of measurement of Length and Mass)

পদার্থবিদ্যার বিভিন্ন পরীক্ষাকালে প্রায়শই পর্যবেক্ষণের সময়ে বিভিন্ন বস্তুর দৈর্ঘ্য বা দুইটি বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব বা বিভিন্ন বস্তুর ভর নির্ণয় করিতে হয়। দৈর্ঘ্য বা ভর নির্ণয় করিবার জন্য পরীক্ষাগারে যে-সকল যন্ত্রাদি সাধারণতঃ ব্যবহৃত হইয়া থাকে, সেগুলির বর্ণনা, নীতি ও ব্যবহার আলোচিত হইল।

2.1 ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier Scale)

সাধারণ স্কেলের সাহায্যে কোন দৈর্ঘ্য মাপিলে, স্কেলের সর্বাপেক্ষা ছোট ঘরের মান অপেক্ষা কম দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে পাওয়া যায় না। কিন্তু বৈজ্ঞানিক কাজে আরও সূক্ষ্ম ও নির্ভুল মাপের প্রয়োজন প্রায়শই হয়। ফরাসী গণিতবিদ্ পি. ভার্নিয়ারের উদ্ভাবিত একরূপ স্কেলের সাহায্যে সূক্ষ্মতর (এক মিলিমিটারের ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ) পরিমাপ করা যায়।

মুখ্যতঃ মূলস্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশ অপেক্ষা সূক্ষ্মতর দৈর্ঘ্য পরিমাপের জন্য মূল-স্কেলের পার্শ্বে আরো একটি সঞ্চরণশীল ছোট স্কেল রাখা হয়। ইহাকে **ভার্নিয়ার স্কেল** বলে। সরল স্কেলের সহিত সরল ভার্নিয়ার [চিত্র 2·1(a)] এবং কৌণিক স্কেলের সহিত কৌণিক ভার্নিয়ার [চিত্র 2·1(b)] ব্যবহৃত হয়। উভয়েরই



চিত্র 2·1

কার্যনীতি এক। ভার্নিয়ার স্কেলে যদি n-সংখ্যক ঘর থাকে, তাহা হইলে উহা সাধারণতঃ প্রধান স্কেলের $(n-1)$-সংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘরের সহিত মিলিয়া থাকে। ভার্নিয়ারের নিজস্ব একটি ঘরের কোন মাপ থাকে না। উহার n-সংখ্যক ঘরের সহিত প্রধান স্কেলের $(n-1)$-সংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘরের মিলন হইতে ভার্নিয়ারের ঘরের মান নির্ণয় করা হয়।

ভার্নিয়ার ধ্রুবক (Vernier Constant)

ভার্নিয়ার স্কেলের একটি ঘর এবং প্রধান স্কেলের ক্ষুদ্রতম একটি ঘরের মধ্যে যে ব্যবধান, তাহাকেই ভার্নিয়ার স্কেলের **ভার্নিয়ার ধ্রুবক** ($v.c$) বলে। ধরা

থাক্, ভার্নিয়ার স্কেলের n-ঘর প্রধান স্কেলের $(n-1)$ সংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘরের সহিত মিলিয়া যায়।

অর্থাৎ, ভার্নিয়ারের n-ঘর = মূলস্কেলের $(n-1)$ সংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘর

সুতরাং, ভার্নিয়ারের 1 ঘর (1 v.s.d.) = মূলস্কেলের $\frac{n-1}{n}$ ক্ষুদ্রতম ঘর (m.s.d.)

অতএব, ভার্নিয়ার ধ্রুবক ($v. c.$)

$$= 1 \text{ m s d.} - 1 \text{ v s d.}$$

$$= 1 \text{ m s d.} - \frac{n-1}{n} \text{ m.s.d.}$$

$$= \left(1 - \frac{n-1}{n}\right) \text{ m.s.d.} = \frac{1}{n} \text{ m s.d.}$$

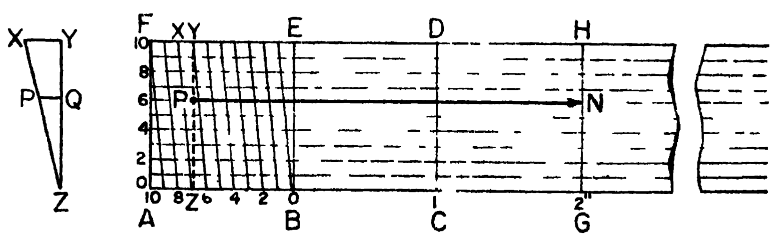
অর্থাৎ, ভার্নিয়ার ধ্রুবক $= \frac{1}{n} \times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ঘরের মান।

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে, সকল ভার্নিয়ার স্কেলেই ভার্নিয়ার মান এক রকম হয় না। কোন সময়ে, ভার্নিয়ারের 10 ঘরের সহিত মূলস্কেলের 9 ঘর, আবার কখনো ভার্নিয়ারের 20 ঘরের সহিত মূলস্কেলের 19 ঘর অথবা ভার্নিয়ারের 50 ঘরের সহিত মূলস্কেলের 49 ঘর মিলিতে দেখা যায়।

2.2 ডায়াগোনাল স্কেল, উহার গঠন ও ব্যবহার (Diagonal Scale, Its construction and uses)

ডায়াগোনাল স্কেল একটি বিশেষ ধরনের স্কেল, যাহার সাহায্যে সাধারণ স্কেলের একটি ক্ষুদ্রতম অংশকে (1 মিমি বা 0 1 ইঞ্চি) আরো ভাগ না করিয়াও, ঐ ক্ষুদ্রতম অংশের এক-দশমাংশ পর্যন্ত মাপা যায়।

গঠন : ডায়াগোনাল স্কেল গঠন করিতে মূল স্কেলের শূন্য দাগের (BE) বাম বা ডানপার্শ্বে আরো একটি অতিরিক্ত ঘর ($ABEF$) লওয়া হয়, যাহার মান 1 সেমি বা 1 ইঞ্চি। $ABEF$-এর মান 1 ইঞ্চি ধরিয়া (চিত্র 2·2) একটি



চিত্র 2·2

ডায়াগোনাল স্কেল দেখানো হইয়াছে। এই ঘরের উপর ও নীচের দুইটি অনুভূমিক বাহুকে (EF ও AB) সমান 10 ভাগে ভাগ করিয়া, প্রতিটি ভাগের মান 0·1 ইঞ্চি করা হয়। AB ও EF বাহুর যথাক্রমে B ও E বিন্দুকে শূন্য চিহ্নিত করিয়া, ঐ দুই

বাহুর পাশে ঘরসংখ্যা লিখিয়া রাখা হয়। এখন, $ABEF$ ঘরের প্রান্তিক উলম্ব বাহুকেও (AF) সমান 10 ভাগে ভাগ করিয়া, A বিন্দুকে শূন্য ধরিয়া, F বিন্দুকে 10 চিহ্নিত করা হয় এবং উহার পাশে পাশে ঘরসংখ্যা লিখিয়া রাখা হয়। ঐ উলম্ব বাহু AF-এর প্রত্যেকটি বিন্দু হইতে (0, 1, 2, ...) AB-র সমান্তরাল করিয়া অনুভূমিক সরলরেখা টানা হয়। ইহার পর নীচের অনুভূমিক রেখা AB-র 0, 1, 2, ... 9 সংখ্যক বিন্দুগুলিকে উপরের অনুভূমিক রেখা EF-এর 1, 2, 3, ... 10 সংখ্যক বিন্দুগুলির সহিত যুক্ত করিয়া (0 – 1, 1 – 2,..... 9 – 10) 10-টি সরলরেখা পাওয়া যায়। এইভাবে $ABEF$ ঘরের মধ্যে মোট 10-টি ডায়াগোনাল লাইন পাওয়া গেল।

ব্যবহার : মনে করা যাক যে, একটি বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে যাহার পরিমাপ 2 ইঞ্চি অপেক্ষা বেশী কিন্তু 3 ইঞ্চি অপেক্ষা কম। সাধারণ স্কেলের সাহায্যে এই দৈর্ঘ্য মাপিলে, পরিমাপের মান এক দশমিক স্থান পর্যন্ত পাওয়া যাইতে পারে। কিন্তু ডায়াগোনাল স্কেলের ব্যবহারের সাহায্যে, ঐ দৈর্ঘ্য দুই দশমিক স্থান পর্যন্ত সহজেই নির্ণয় করা যাইতে পারে।

প্রথমে একটি ডিভাইডারের (divider) সাহায্যে ঐ বস্তুর দুই প্রান্তদেশে প্রান্তবিন্দুদ্বয় ঠেকানো হইল। এখন ডিভাইডারের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যেকার দূরত্বই, ঐ বস্তুর প্রকৃত দৈর্ঘ্য। এরপর, ডিভাইডারের এক বাহুর প্রান্তবিন্দু স্কেলের 2″ দাগের (G বিন্দু) সহিত মিলাইয়া, ডিভাইডারের অপর প্রান্তবিন্দু AB রেখার উপর রাখা হইল। এখন G বিন্দুতে অবস্থিত ডিভাইডারের প্রান্তবিন্দুকে GH সরলরেখা বরাবর উপরের দিকে তুলিতে হইবে, যতক্ষণ না ডিভাইডারের অপর প্রান্তবিন্দু $ABEF$ ঘরের কোন ডায়াগোনাল রেখা এবং AF বাহুর কোন বিন্দু হইতে টানা অনুভূমিক রেখার ছেদবিন্দুর সহিত মিলিত হয়। যদি প্রান্তটি P ছেদবিন্দুটির সহিত মিলিত হয়, তাহা হইলে ঐ ছেদবিন্দুর (P) অবস্থান হইতে বস্তুটির দৈর্ঘ্য দুই দশমিক মান পর্যন্ত নির্ভুলভাবে পাওয়া যাইবে।

চিত্রে ডিভাইডারের এক প্রান্তবিন্দু AF বাহুর ষষ্ঠ বিন্দু হইতে টানা অনুভূমিক রেখা, XZ ডায়াগোনাল রেখার (7-8) ছেদবিন্দু P-এর সহিত মিলিয়াছে। কিন্তু মূল স্কেলের শূন্য দাগ B হইতে YZ-রেখার দৈর্ঘ্য 0·7 ইঞ্চি। আবার YZ রেখা এবং XZ ডায়াগোনাল লাইনের মধ্যে যে অংশ আছে, তাহার মাপ PQ হইবে। এই PQ অংশের পরিমাপ 0·1 ইঞ্চি (XY) অপেক্ষা কম। এখন, চিত্রের XYZ ও PQZ ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

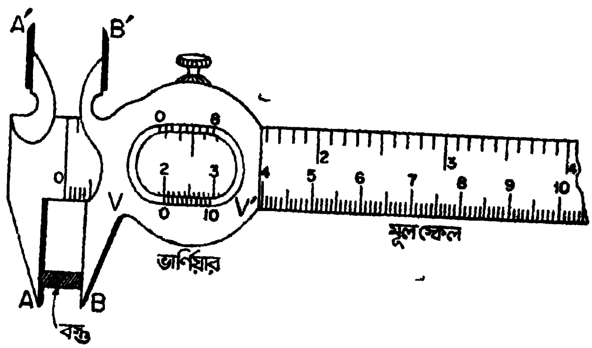
$$\text{সেজন্য, } \frac{PQ}{XY} = \frac{ZQ}{ZY} = \frac{0{\cdot}6ZY}{ZY} = 0{\cdot}6.$$

অর্থাৎ, $PQ = 0{\cdot}6XY = 0{\cdot}6 \times 0{\cdot}1$ ইঞ্চি $= 0{\cdot}06$ ইঞ্চি

অতএব, প্রদত্ত বস্তুর দৈর্ঘ্য (PN) $= 2{\cdot}76$ ইঞ্চি।

2.3 স্লাইড ক্যালিপার্স ও উহার ব্যবহার (Slide Callipers and its uses)

ভার্নিয়ার স্কেলের মূলনীতির ভিত্তিতে বিশেষভাবে নির্মিত এই যন্ত্রটি কোন ছোট দৈর্ঘ্য সূক্ষ্মভাবে মাপার জন্য ব্যবহৃত হয়। আয়তাকার ঘনবস্তুর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধ অথবা গোলক বা সিলিণ্ডারের ব্যাস ইত্যাদি মাপিবার জন্য এই যন্ত্রটি বিশেষভাবে উপযোগী। ইহা একটি সাধারণ স্কেল ও একটি ক্ষুদ্র ভার্নিয়ারের সমষ্টি। ভার্নিয়ার স্কেলটি প্রয়োজনমত ডানদিকে বা বাঁদিকে সরানো যায়। একটি মোটা আয়তক্ষেত্রিক ইস্পাতের লম্বা পাতের উপর মূল সরল স্কেলটি অঙ্কিত থাকে, মূল স্কেলটির উপরিভাগ ইঞ্চিতে এবং তাহার ষোড়শাংশে, এবং নীচের দিকে সেন্টিমিটারে এবং তাহার দশমাংশে ভাগ করা থাকে। যন্ত্রটির এক প্রান্তে মূল স্কেলের সহিত লম্বভাবে একটি স্থির দাঁড়া (fixed jaw) AA' যুক্ত থাকে (চিত্র 2·3)।



চিত্র : 2·3

ইস্পাতের স্কেলের উপর একটি বিশেষভাবে নির্মিত ইস্পাতের খোল (VV') চলাফেরা করিতে পারে। এই খোলের বামপ্রান্ত দাঁড়া BB' স্কেলের সহিত সমান্তরালভাবে সরানো যায়। এই BB' দাঁড়ার সহিত VV' ভার্নিয়ার স্কেলটি যুক্ত থাকে। যখন সঞ্চরণশীল স্থির দাঁড়া AA'-কে স্পর্শ করে, তখন ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ সাধারণতঃ মূল স্কেলের শূন্য দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। ইহা না হইলে, ক্যালিপার্সে শূন্যের ভুল (zero error) থাকে এবং তাহার পরিমাণ, যন্ত্রটি পরিমাপকার্যে ব্যবহার করিবার পূর্বেই নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে। যন্ত্রটি ত্রুটিশূন্য হইলে, ভার্নিয়ার যুক্ত দাঁড়টিকে ডানদিকে সরানোর ফলে AA' ও BB' প্রান্তের মধ্যে যে ব্যবধান উৎপন্ন হয়, তাহার সহিত এই অবস্থায়, মূল স্কেলের শূন্য দাগ ও ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য দাগের মধ্যেকার ব্যবধান ঠিক সমান।

ব্যবহার পদ্ধতি : প্রথমেই ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করা প্রয়োজন। যদি ভার্নিয়ারে n-সংখ্যক ঘর থাকে, তাহা হইলে ভার্নিয়ার ধ্রুবকের সূত্র অনুযায়ী (2.1) :

ভার্নিয়ার ধ্রুবক ($v.\ c.$) $=\frac{1}{n}\times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ঘরের মান। ইহার পর যে বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে, তাহার একপ্রান্ত স্থির দাঁড়া AA'-এর গাত্রে লাগান হয় এবং সঞ্চরণশীল ভার্নিয়ার বাহুটিকে ডানদিকে সরাইয়া BB' দাঁড়টিকে বস্তুটির অপর প্রান্তে ঠেকানো হয়, এই অবস্থায় মূল স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়া হয়। সেই পাঠ হইতে নিম্নলিখিত সূত্র অনুযায়ী মোট দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিতে হয়।

মোট দৈর্ঘ্য = মূল স্কেলের পাঠ + ভার্নিয়ার পাঠ × ভার্নিয়ার গুণাঙ্ক।

যান্ত্রিক ত্রুটি নির্ণয়: ক্যালিপার্সে যান্ত্রিক ত্রুটি মূলত: শূন্যের ভুল (zero error) হয়। স্থির দাঁড়া ও সঞ্চরণশীল দাঁড়া পরস্পর স্পর্শ করা অবস্থায় যদি মূল স্কেলের ও ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্যদাগ দুইটি না মিলিয়া থাকে, তাহা হইলে শূন্যের ভুল আছে বলিয়া স্থির হয়। সেই অবস্থায়, ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূলস্কেলের শূন্য দাগের আগে বা পরে থাকিতে পারে। যদি ভার্নিয়ারের x-ঘর মূল স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়া যায়। তাহা হইলে শূন্যের ভুল হইবে

$$y=\pm x\times(\text{vern. const.})$$

স্কেলের শূন্যদাগের বামদিকে বা ডানদিকে ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ থাকিলে যথাক্রমে y-এর মান ঋণাত্মক (−) বা ধনাত্মক (+) হইবে।

2.4 স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে একটি সুষম কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয় (To measure the volume of a regular shaped solid by Slide Callipers)

প্রথমেই ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে যাহার মান

$v.\ c.=\frac{1}{n}\times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ঘরের মান

(n − ভার্নিয়ারের মোট দাগসংখ্যা)

ইহার পর ক্যালিপার্সে কোন শূন্যের ভুল আছে কিনা, তাহা দেখিতে হইবে এবং থাকিলে, তাহার মান (y) নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে। এরপর BB' বাহুকে সরাইয়া AA' ও BB' বাহুদ্বয়ের ফাঁকের মধ্যে প্রদত্ত বস্তুকে আটকাইয়া রাখিতে হইবে। এই অবস্থায় ভার্নিয়ারের শূন্য দাগের বামপার্শ্বে যদি মূলস্কেলের পূর্ণ সংখ্যা পাঠ M হয় এবং ইহার পরের ক্ষুদ্রতম ঘরের কিছু ভগ্নাংশ বেশী থাকে, তাহা হইলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য বা ব্যাস হইবে $L=M+N$ (N − ঐ ভগ্নাংশটুকুর মান)। N-এর মান নির্ণয় করিতে হইলে দেখিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের কোন্ দাগটি মূল স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়া আছে। ভার্ণিয়ারের ঐ মিলিত দাগের সংখ্যা যদি n হয়, তাহা হইলে ভগ্নাংশটুকুর (N) মান হইবে $N=n\times(\text{vern. const.})$। এইভাবে বস্তুর বিভিন্ন স্থানে এবং প্রত্যেক স্থানে লম্বালম্বিভাবে M ও N এর মান নির্ণয় করিয়া, পাঠগুলিকে সারণীবদ্ধ করিয়া লিখিতে হইবে। যদি

বস্তুটির শূন্যের ভুল $\pm y$ হয়, তাহা হইলে প্রতিটি পাঠের মানের সহিত ঐ ভুল যথাযথভাবে বিয়োগ করিতে হইবে।

আয়তঘনকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধের মান যথাক্রমে a, b ও c হইলে বা, নিরেট চোঙ বা গোলকের ব্যাস d হইলে,

বা, ফাঁপা চোঙের বাহিরের ও ভিতরের ব্যাস যথাক্রমে d_1, d_2 হইলে

আয়ত ঘনকের আয়তন $= a \times b \times c$ ঘন সেমি.

গোলকের আয়তন $= \frac{4}{3}\pi(d/2)^3 = \frac{\pi d^3}{6}$ ঘন সেমি.

নিরেট চোঙ বা ফাঁপা চোঙের আয়তন যথাক্রমে

$$= \frac{\pi d^2 l}{4} \text{ বা } \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2) \text{ ঘন সেমি.}$$

(l – চোঙের দৈর্ঘ্য)

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

ভার্নিয়ার ধ্রুবাঙ্ক = ··· সেমি.

শূন্যের ভুল $y = \pm x \times$ (vern. const.).

= ··· সেমি.

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার পাঠ	ভার্নিয়ার পাঠের মান (N) সেমি	মোট পাঠ $L=M+N$ সেমি	L-এর গড় মান সেমি	যান্ত্রিক ত্রুটি (y) সেমি	সংশোধিত দৈর্ঘ্য $L \pm y$ সেমি
1 (a) (b)							
2 (a) (b)							
3 (a) (b)							
··· ···	··· ···	· ···	··· ··	··· ···			

দ্রষ্টব্য : (a) ও (b) বস্তুটির একটি নির্দিষ্ট স্থানে পরস্পর লম্বভাবে দুটি পর্যবেক্ষণ

হিসাব (Calculations) :

(i) আয়তঘনকের ক্ষেত্রে, আয়তন $V = a \times b \times c$ ঘন সেমি.

(ii) গোলকের ক্ষেত্রে, আয়তন $V = \pi d^3/6$ ঘন সেমি.

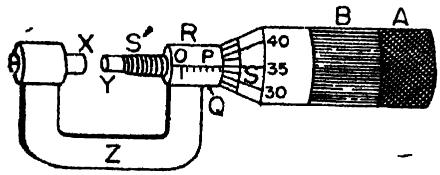
(iii) নিরেট চোঙের ক্ষেত্রে, আয়তন $V = \frac{\pi d^2 l}{4}$ ঘন সেমি.

(iv) ফাঁপা চোঙের ক্ষেত্রে, আয়তন $V=\frac{\pi L}{4}(d_1^2-d_2^2)$ ঘন সেমি.

2.5 স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু (Screw Gauge or Micrometer Screw)

বৈজ্ঞানিক কাজে ছোট ছোট জিনিসের দৈর্ঘ্য (যেমন, পাতলা পাতের বেধ বা সরু তারের ব্যাস) সূক্ষ্মভাবে মাপিবার প্রয়োজন হয়। এরূপ পরিমাপ করিবার জন্য স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহৃত হয়।

স্ক্রু-গেজ একটি U-আকৃতির ধাতব দণ্ড (Z)। ইহার বামবাহুর প্রান্তে একটি দণ্ড (X) এবং ডান বাহুর প্রান্তে একটি ফাঁপা নল (R) আটকানো থাকে (চিত্র 2·4)। এই নলের মধ্য দিয়া সমভাবে প্যাঁচকাটা একটি স্ক্রু (S') সহজেই চলাফেরা করিতে পারে। এই স্ক্রু এর শেষপ্রান্ত Y ও X প্রান্তদ্বয় একই অনুভূমিক সরলরেখায় থাকে। ফাঁপা নলটির দৈর্ঘ্য বরাবর একটি দাগ কাটা থাকে (P) যাহাকে নির্দেশক বা মানরেখা (reference line) বলে। এই রেখা বরাবর মিলিমিটার বা অর্ধমিলিমিটারে একটি স্কেল থাকে (Q) যাহার দ্বারা স্ক্রু-এর রৈখিক সরণ মাপা যায়। স্ক্রু-এর আংশিক ঘূর্ণন মাপিবার জন্য উহার গাত্র বরাবর একটি বেষ্টনী বা চোঙাকৃতি পাত্র থাকে (B) যাহার বামপ্রান্ত ফাঁপা নলের গায়ে মিশিয়া থাকে। এই প্রান্তে একটি বৃত্তাকার স্কেল (S) আঁকা থাকে যাহাতে 50 বা 100টি দাগ আছে। এই স্কেলের দ্বারা স্ক্রু-এর আংশিক ঘূর্ণনের পরিমাপ করা যায়। B পাতের অপর প্রান্তে একটি টুপি থাকে, যাহাকে ঘুরাইয়া চোঙাকৃতি পাতকে আগানো বা পিছানো যায়। স্ক্রুটিকে ঘুরাইয়া যখন XY প্রান্তদ্বয় পরস্পরকে স্পর্শ করে, তখন বৃত্তীয় স্কেলের শূন্যদাগ নির্দেশক রেখার শূন্যদাগের সহিত মিলিয়া যায়। যদি তাহা না হয়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, স্ক্রু-গেজটিতে যান্ত্রিক ভুল বা শূন্য ভুল (zero error) আছে, যাহার পরিমাপ সর্বাগ্রেই নির্ণয় করিয়া লওয়া প্রয়োজন।



চিত্র : 2·4

ব্যবহার পদ্ধতি : প্রথমেই স্ক্রু-গেজের পিচ্ (Pitch) ও লঘিষ্ঠ মাপ (Least count) নির্ণয় করিতে হইবে।

পিচ্ : কোন স্ক্রু-গেজের স্ক্রুকে সম্পূর্ণ একপাক ঘুরাইলে (বৃত্তাকার স্কেলের পূর্ণ একপাক ঘূর্ণনে) স্ক্রু এর মাথা (Y) রৈখিক স্কেল বরাবর যতখানি সরিয়া যায় তাহাকেই স্ক্রু-গেজের পিচ্ বলে। যদি বৃত্তাকার স্কেলটি একপাক ঘুরাইলে, স্ক্রুটি 1 মিমি অগ্রসর হয়, তাহা হইলে পিচ্ = 1 মিমি।

লঘিষ্ঠ মাপ : বৃত্তাকার স্কেলটির মাত্র একঘর পরিমাণ ঘুরাইলে, স্ক্রু টি যে

পরিমাণ স্থানান্তরিত হয়, তাহাই স্ক্রু-গেজের লঘিষ্ঠ মাপ। প্রকৃতপক্ষে, স্ক্রু-গেজের দ্বারা যে লঘিষ্ঠতম পাঠ লওয়া যায়, তাহাই উহার লঘিষ্ঠ মাপ।

এখন যদি বৃত্তীয় স্কেলে মোট N-সংখ্যক দাগ থাকে এবং ঐ বৃত্তীয় স্কেলের একবার পূর্ণ-ঘূর্ণনে যদি স্ক্রুটি রৈখিক স্কেলে P মিমি অগ্রসর হয়, তাহা হইলে

পিচ্ $= P$ মিমি

এবং লঘিষ্ঠ মাপ (Least count) $=\frac{P}{N}$ মিমি

সুতরাং, যদি কোন স্ক্রুগেজের রৈখিক স্কেলে ক্ষুদ্রতম দাগ 1 মিমি এবং বৃত্তাকার স্কেলে মোট 100 ভাগ থাকে, তাহা হইলে, স্ক্রু-গেজের লঘিষ্ঠ মাপ $=\frac{1}{100}$ মিমি $=0.01$ মিমি $=0.001$ সেমি। সুতরাং ঐ স্ক্রু-গেজের সাহায্যে 1 সেমি-এর এক-সহস্রাংশ মাপা যাইতে পারে।

বস্তুর ব্যাস বা দৈর্ঘ্য নির্ণয় :

বস্তুটির একপ্রান্ত স্ক্রু-গেজের স্থিরপ্রান্তে (X) ঠেকাইয়া, Y-প্রান্তটিকে অপর প্রান্তে স্পর্শ করাইতে হইবে। এই অবস্থায় যদি চোঙাকৃতি পাতের (B) বৃত্তাকার ধারের (S) বামপার্শ্বে রৈখিক স্কেলে n-সংখ্যক পূর্ণ ঘর থাকে এবং রৈখিক স্কেলে কিছু ভগ্নাংশ বেশী থাকে, তাহা হইলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য, রৈখিক স্কেলের n-সংখ্যক ঘরের মান এবং ঐ ভগ্নাংশের মানের যোগফলের সমান হইবে। যদি রৈখিক স্কেলের প্রতিটি ঘরের মান m মিমি হয় (সাধারণতঃ ইহা 1 মিমি বা 0·5 মিমি হয়), তাহা হইলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য

nm মিমি + ভগ্নাংশের মান।

এই ভগ্নাংশটুকুর মান নির্ণয় করিতে হইলে দেখিতে হইবে যে, বৃত্তাকার স্কেলের কত সংখ্যক ঘর নির্দেশক রেখার (P) সহিত মিলিয়া আছে। যদি বৃত্তাকার স্কেলের r সংখ্যক ঘর ঐ রেখার সহিত মিলিয়া থাকে এবং যদি স্ক্রু-গেজের লঘিষ্ঠ মাপ c হয়, তাহা হইলে ভগ্নাংশটুকুর মান হইবে $r \times c$ মিমি।

$\therefore$ বস্তুটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য $=(n\,m+r\,c)$ মিমি।

বস্তুট যদি একটি সরু তারের আকারে হয়, তাহা হইলে উহার ক্ষেত্রে এই দৈর্ঘ্যই হইবে উহার ব্যাস (d) এবং তারটির প্রস্থচ্ছেদ হইবে $\frac{\pi d^2}{4}$ বর্গ মিমি।

যান্ত্রিক ত্রুটি নির্ণয় :

স্ক্রু-এর বামপ্রান্তটিকে (Y) স্থিরপ্রান্তের (X) সহিত ঠেকাইলে যদি বৃত্তীয় স্কেলের শূন্যদাগ, নির্দেশক রেখার সহিত মিলিয়া যায়, তাহা হইলে যন্ত্রে কোন যান্ত্রিক ত্রুটি নাই। কিন্তু যদি ঐ অবস্থায়, বৃত্তাকার স্কেলের কিছু সংখ্যক ঘরের সহিত নির্দেশক রেখা মিলিয়া থাকে, তাহা হইলে যন্ত্রে যান্ত্রিক ত্রুটি আছে। মনে করা যাক যে,

বৃত্তাকার স্কেলের y-সংখ্যক ঘর ঐ অবস্থায়, নির্দেশক রেখার সহিত মিলিয়া আছে। তাহা হইলে যান্ত্রিক ত্রুটি $= \pm y \times$ (লঘিষ্ঠ মাপ)। যদি এই y-ঘর 90 বা 10-এর দিকে থাকে, তাহা হইলে ঐ ত্রুটি যথাক্রমে ঋণাত্মক $(-)$ বা ধনাত্মক $(+)$ এবং সেক্ষেত্রে বস্তুটির সংশোধিত দৈর্ঘ্যর পরিমাণ হইবে—

সংশোধিত দৈর্ঘ্য = প্রাপ্ত দৈর্ঘ্য − (± যান্ত্রিক ত্রুটি)

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

লঘিষ্ঠ মাপ নির্ণয় :—

মূল স্কেলের 1 ঘর = ····· মিমি.

স্ক্রু পিচ্ (P) = ····· মিমি.

বৃত্তাকার স্কেলে মোট দাগসংখ্যা (N) = ····

∴ লঘিষ্ঠ মাপ $= \dfrac{p}{N}$ = ······মিমি.

যান্ত্রিক ত্রুটি $(e) = \pm y$ ভাগ (বৃত্তাকার স্কেলের)

$= \pm y \times$ (লঘিষ্ঠ মাপ) মিমি.

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেলের পাঠ $(n \times m)$ মিমি	বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ (r)	বৃত্তাকার স্কেলের পাঠের পরিমাণ $r \times$ লঘিষ্ঠ মাপ (মিমি)	মোট পাঠ $n.m + r.(l.c)$ (মিমি)	গড় দৈর্ঘ্য বা ব্যাস (d) (মিমি)	যান্ত্রিক ত্রুটি (e) (মিমি)	সংশোধিত দৈর্ঘ্য বা ব্যাস $d_1 = (d-e)$ মিমি
1 (a)							
(b)							
2 (a)							
(b)							
3 (a)							
(b)							
···	···	···	···	···			
···	···	··	···	···			
···	···	···	···	···			
···	···	···	···	···			

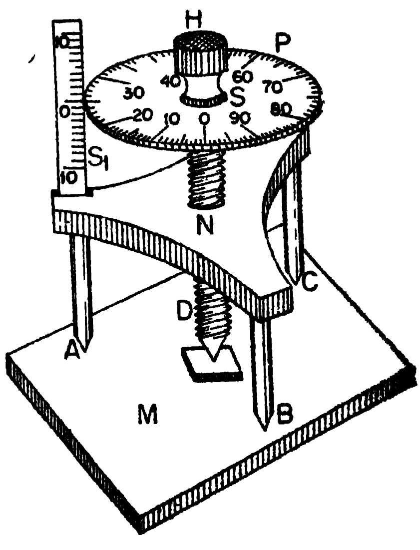
∴ তারের প্রস্থচ্ছেদ $= \dfrac{\pi d_1^2}{4}$ বর্গমিমি।

দ্রষ্টব্য : পর্যবেক্ষণ (a) ও (b) বস্তুটির একই নির্দিষ্ট স্থানে পরস্পর লম্বভাবে গৃহীত দুইটি পর্যবেক্ষণ।

2·6 স্ফেরোমিটার ও উহার ব্যবহার (Spherometer and its uses)

কোন বক্রতলের (লেন্স বা গোলীয় দর্পণ) বক্রতা-ব্যাসার্ধ (radius of curvature) মাপিবার জন্য স্ফেরোমিটার ব্যবহৃত হয়। ইহার সাহায্যে পাতলা কাচের বেধও বেশ সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়।

নীতির দিক হইতে যন্ত্রটি প্রায় স্ক্রু-গেজের মতই তবে, ইহার গঠনপ্রণালী একটু ভিন্ন ধরনের। যন্ত্রের ফ্রেমটি একটি শক্ত ধাতু দ্বারা তৈয়ারী। এই ফ্রেমের তিনটি পায়া আছে (A, B, C), যাহার দ্বারা যন্ত্রটি দাঁড় করান যায় (চিত্র 2·5)। ইহাদের অগ্রভাগগুলি খুব সূক্ষ্ম। পায়া তিনটির নীচের প্রান্ত এক সমতলে অবস্থিত। সেজন্য কোন সমতল পাতের (M) উপর যন্ত্রটি রাখিলে তিনটি পায়াই সমতলকে স্পর্শ করে। পায়া তিনটির প্রান্তীয় বিন্দুগুলি যোগ করিলে একটি সমবাহু ত্রিভুজ পাওয়া যায়। যন্ত্রের ফ্রেমটির কেন্দ্রে একটি প্যাঁচকাটা ছিদ্র বা নাট্ (N) আছে। ইহার মধ্য দিয়া একটি স্ক্রু (D) উপরে নীচে উঠানামা করিতে পারে। এই স্ক্রু এর সূক্ষ্ম অগ্রভাগ A,B,C পায়া তিনটি হইতে সমদূরবর্তী। স্ক্রুটির উপর প্রান্তে একটি স্ক্রু শীর্ষ (H) আছে যাহার নীচে একটি বৃত্তাকার ধাতব পাত থাকে (P)। এই পাতের উপর একটি বৃত্তীয় স্কেল (S) অঙ্কিত আছে। A পায়ার উপর খাড়াভাবে মিলিমিটারে একটি সরল স্কেল (S_1) থাকে। স্ক্রু ঘুরাইলে, বৃত্তীয় স্কেলের ধার সরল স্কেলের (S_1) গা ঘেঁসিয়া উঠানামা করিতে পারে। সরল স্কেলের মাঝামাঝি শূন্য 0) দাগটি দেওয়া থাকে। D স্ক্রু এর অগ্রভাগ যখন A, B ও C পায়া তিনটির অগ্রভাগের সহিত একই সমতলে থাকে, তখন সাধারণতঃ বৃত্তীয় স্কেলের পৃষ্ঠ সরল স্কেলের শূন্য দাগে থাকিবে। এই অবস্থায় বৃত্তীয় স্কেলের শূন্য দাগটিও সরল স্কেলের শূন্য দাগে আসিয়া মিলিবে। এরূপ না হইলে, যন্ত্রটিতে শূন্য ত্রুটি (zero error) আছে বলিয়া বুঝিতে হইবে।



চিত্র : 2·5

ব্যবহার পদ্ধতি : প্রথমেই স্ফেরোমিটারের পিচ্ ও লঘিষ্ঠ মাপের পরিমাণ নির্ণয় করিতে হইবে। স্ক্রু গেজের মতই ইহার

$$\text{লঘিষ্ঠ মাপ} = \frac{\text{পিচ্}}{\text{বৃত্তীয় স্কেলে মোট ঘরসংখ্যা}}$$

স্ফেরোমিটারের স্ক্রুটি এক পাক সম্পূর্ণ ঘুরাইলে, রৈখিক স্কেলের উপর P পাতের কিনারা যতটা স্থানান্তরিত হয় তাহাকেই পিচ্ বলে। সুতরাং বৃত্তীয় স্কেলের মাত্র একঘর পরিমাণ ঘুরাইলে, D স্ক্রু-এর নিচের প্রান্ত যতটা উঠে বা নামে, তাহাই হইল স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ মাপ। সাধারণতঃ, স্ফেরোমিটারের পিচ্ 1 মিমি বা 0·5 মিমি হয় এবং বৃত্তীয় স্কেলে ঘরের সংখ্যা থাকে 100.

$$\text{সুতরাং, লঘিষ্ঠ মাপ} = \frac{1 \text{ মিমি বা } 0{\cdot}5 \text{ মিমি}}{100} = 0{\cdot}01 \text{ মিমি বা } 0{\cdot}005 \text{ মিমি}$$

স্ফেরোমিটারের ব্যবহার :

(i) পাতলা কাচের পাতের বেধ নির্ণয় (Measurement of thickness of a thin glass plate)

স্ফেরোমিটারের মধ্যেকার পায়ার সরণ কোন পাতের বেধের সমান হইলে, ঐ বেধ নিম্নোক্ত সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

পাতের বেধ = বৃত্তীয় স্কেলের মধ্যকার পায়ার সরণ × লঘিষ্ঠ মাপ।

স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ মাপ নির্ণয় করিবার পর, মধ্যেকার পায়াটিকে, স্ক্রু ঘুরাইয়া বেশ কিছুটা উপরে তুলিয়া লওয়া হয়। ইহার পর একটি বড় সমতল কাচের পাত (XY)-এর উপর স্ফেরোমিটারটিকে বসাইতে হয় এবং পরিমেয় পাতলা কাঁচের পাতটিকে ঠিক মধ্যকার পায়ার নীচে রাখিতে হয়। এখন স্ক্রুটিকে ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া মধ্যেকার পায়ার অগ্রভাগকে নীচে নামাইয়া, পাতলা পাতটিকে ঠিক স্পর্শ করাইতে হয়, এই অবস্থায় বৃত্তীয় স্কেলের যে দাগটি রৈখিক স্কেলের সহিত মিলিয়াছে, সেই পাঠ লইতে হয়। ইহাই বৃত্তীয় স্কেলের প্রারম্ভিক পাঠ। ইহার পর স্ফেরোমিটারটিকে তুলিয়া লইয়া ঐ পরিমেয় পাতলা পাতটিকে সরাইয়া ফেলিতে হইবে এবং যন্ত্রটিকে আবার সমতল বড় পাতের উপর বসাইতে হইবে। এই অবস্থায় মধ্যেকার পায়ার নিম্নপ্রান্ত কাচের প্লেটের যতটা উপরে থাকে, তাহাই ঐ পাতলা প্লেটের বেধ যাহা পরিমেয়।

এবার স্ক্রুটিকে সাবধানে ঘুরাইতে হইবে এবং প্রতিবার যখন বৃত্তীয় স্কেল প্রারম্ভিক পাঠে আসিবে, তখন একটি করিয়া পূর্ণ ঘূর্ণন মনে মনে গণনা করিতে হইবে। নীচের প্লেটটি স্পর্শ করিবার পূর্বে, বৃত্তীয় স্কেলের যতবার পূর্ণ ঘূর্ণন হইবে, তাহার পাঠ লইতে হইবে, এবং বৃত্তীয় স্কেলের যে দাগে আসিয়া চূড়ান্ত পাঠ হইবে, তাহাকেই প্রান্তীয় পাঠ হিসাবে লইতে হইবে। এখন মোট পূর্ণ ঘূর্ণনের সংখ্যাকে পিচ দ্বারা গুণ করিয়া, সেই মানের সহিত, বৃত্তীয় স্কেলের প্রারম্ভিক ও প্রান্তীয় পাঠের ব্যবধানের মান যোগ করিতে হইবে। এই যোগফলই হইবে মোট পাঠ। পাতলা পরিমেয় পাতটিকে সামান্য স্থানান্তরিত করিয়া, তাহার বিভিন্ন স্থানে একই পদ্ধতিতে পাঠ লইতে হইবে এবং এরূপ অন্ততঃ 5 বার বিভিন্ন স্থানে পাঠ লওয়া প্রয়োজন। সম্ভব হইলে, পাতটিকে উল্টাইয়া উহার অপরপৃষ্ঠে অনুরূপভাবে বিভিন্ন জায়গায় আরো 5 বার পাঠ লইয়া, সমগ্র পাঠের গড় লওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে, পূর্বে বর্ণিত যান্ত্রিক ত্রুটি যদি যন্ত্রটিতে থাকেও, এই পদ্ধতিতে পরিমাপ করিলে, তাহা নির্ণয় করিবার প্রয়োজন হয় না।

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

লঘিষ্ঠ মাপ নির্ণয় :

রৈখিক স্কেলের 1 ঘর $= \cdots\cdots$ মিমি

স্ক্রু পিচ $(p) = \cdots\cdots$ মিমি

বৃত্তীয় স্কেলে মোট ঘরসংখ্যা $(N) = \cdots\cdots$

$$\therefore \text{ লঘিষ্ঠ মাপ} = \frac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তীয় স্কেলের ঘরসংখ্যা}} = \frac{p}{N} = \cdots\cdots \text{ মিমি}$$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বৃত্তীয় স্কেলের প্রারম্ভিক পাঠ (a)	পূর্ণ ঘূর্ণনের সংখ্যা (n)	বৃত্তীয় স্কেলের প্রান্তিক পাঠ (b)	পূর্ণ ঘূর্ণনের মান $M = n \times$ পিচ (মিমি)	বৃত্তীয় স্কেলের পাঠের ব্যবধান $c = (a-b)$	বৃত্তীয় স্কেলের পাঠের ব্যবধানের মান $N = c \times$ লঘিষ্ঠ মাপ (মিমি)	মোট পাঠ (বেধ) $M+N$ (মিমি)	গড় বেধ (মিমি)
1								
2								
3								
4								
5								
পাতটি উল্টাইয়া								
1								
2								
3								
4								
5								

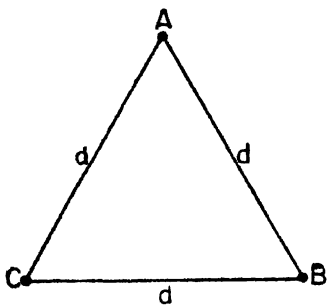
সাবধানতা : (i) স্ক্রুটিকে সর্বদা একদিকে ঘুরানো প্রয়োজন নচেৎ পাঠ ভুল (back lash error) আসিতে পারে।

(ii) স্ক্রু-এর মধ্যেকার পায়াটি যেন প্রতিবার পাতটিকে ঠিক স্পর্শ করে।

(ii) গোলীয় তলের বক্রতা ব্যাসার্ধ নির্ণয় (Measurement of the radius of curvature of a spherical surface)

কোন গোলীয় তলের (লেন্স বা দর্পণ) বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় করিতে হইলে, স্ফেরোমিটারের বাহিরের তিনটি পায়াকে প্রথমে ঐ বক্রতলের উপর রাখিয়া মধ্যকার পায়াকে, ঐ বক্রতলে ঠিক স্পর্শ করাইতে হইবে। এমতাবস্থায় স্ফেরোমিটারের পাঠ লইতে হইবে। ইহার পর ঐ বক্রতলকে সরাইয়া স্ফেরোমিটারটিকে একটি সমতলীয় কাচের প্লেটের উপর রাখিতে হইবে এবং পুনরায় উহার মধ্যেকার পায়াটিকে ঐ সমতলীয় কাচটিকে স্পর্শ করাইতে হইবে। আবার স্ফেরোমিটারের পাঠ লইতে হইবে। এই দুই পাঠের ব্যবধান যদি h সেমি হয়, তাহা হইলে গোলীয়-তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (R) হইবে, $R=\frac{d^2}{6h}+\frac{h}{2}$.

এখানে $d=$ স্ফেরোমিটারের বাইরের পায়া তিনটির যে কোন দুইটির গড় দূরত্ব (চিত্র 2·6)। প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য যে বক্রীয় তলের উপর এবং সমতলীয় পাতের উপর ব্যবধানের পাঠ লওয়ার জন্য, পূর্বে উল্লিখিত স্ফেরোমিটারের বৃত্তীয় স্কেলের পূর্ণ ঘূর্ণন পদ্ধতি অনুসরণ করাই বাঞ্ছনীয়। বক্রীয় তলের তিনটি বিভিন্ন স্থানে স্ফেরোমিটার বসাইয়া h-এর মান তিনবার নির্ণয় করিয়া তাহাদের গড় লওয়া উচিত।



চিত্র : 2·6

স্ফেরোমিটারের যে কোন দুইটি বাহুর মধ্যেকার দূরত্ব (d) নির্ণয় করিবার জন্য যন্ত্রটিকে একটি সাদা কাগজের উপর বসাইয়া চাপ দিলে, পায়াগুলির সূক্ষ্মাগ্রবিন্দুগুলি কাগজের উপর তিনটি বিন্দু অঙ্কিত করিবে। ঐ বিন্দুত্রয়কে সরলরেখা দ্বারা যুক্ত করিলে একটি সমবাহু ত্রিভুজ পাওয়া যাইবে (চিত্র 6)। এই ত্রিভুজের তিনটি বাহুর দৈর্ঘ্য মাপিয়া উহাদের গড় লইলে, d-এর মান পাওয়া যাইবে।

মনে রাখিতে হইবে যে, R-এর মান পাইবার জন্য সমীকরণে h ও d-এর মান উভয়েই সেন্টিমিটারে প্রকাশ করিতে হইবে।

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

লঘিষ্ঠ মাপ নির্ণয় :

রৈখিক স্কেলের 1 ঘর $=\cdots$ মিমি

স্ক্রু পিচ $(p)=\cdots$ মিমি

বৃত্তীয় স্কেলের মোট ঘরসংখ্যা $(N)=\cdots$

লঘিষ্ঠ মাপ $=\frac{p}{N}=\cdots$ মিমি

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্ক্রু যখন গোলীয় তলকে স্পর্শ করে তখন বৃত্তীয় স্কেলের প্রারম্ভিক পাঠ (a)	স্ক্রু যখন সমতলীয় পাতকে স্পর্শ করে তখন বৃত্তীয় স্কেলের পূর্ণ ঘূর্ণন সংখ্যা (n)	স্ক্রু যখন সমতলীয় পাতকে স্পর্শ করে তখন বৃত্তীয় স্কেলের প্রান্তিক পাঠ (b)	পূর্ণ ঘূর্ণনের মান $M = n \times$ পিচ (মিমি)	বৃত্তীয় স্কেলের পাঠের ব্যবধান $c = (a - b)$	পাঠের ব্যবধানের মান $N = c \times$ লঘিষ্ঠ মাপ (মিমি)	h-এর মান $(M + N)$ (মিমি)	h-এর গড় মান (মিমি)	h-এর গড় মান (সেমি)
1	...	..	.	..	..	..	.	..	..
2	.	.		.	..			...	...
3	...		.	..	...				..
4	..	...	..	..	..				...

স্থির পায়াদ্বয়ের মধ্যেকার দূরত্ব নির্ণয় :

A ও B বিন্দুদ্বয়ের মধ্যেকার দূরত্ব $(x)=$ · সেমি
B ও C „ „ „ $(y)=$ ·· সেমি
C ও A „ „ „ $(z)=$ ...সেমি

∴ স্ফেরোমিটারের যে কোন পায়াদ্বয়ের মধ্যেকার গড় দূরত্ব

$$d=\frac{x+y+z}{3}=\ldots \text{ সেমি।}$$

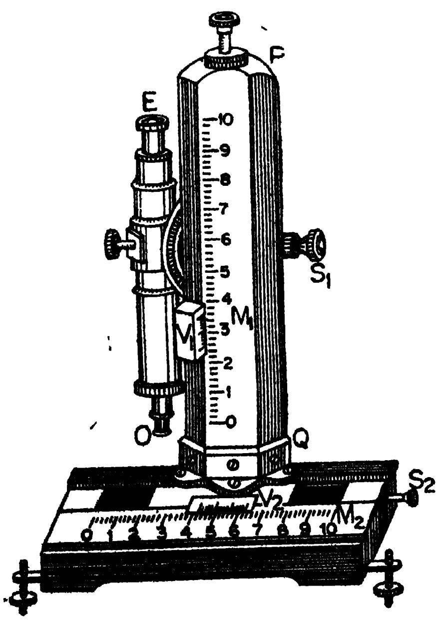
সুতরাং বক্রীয় তলের নির্ণেয় বক্রতা ব্যাসার্ধ

$$R=\frac{d^2}{6h}+\frac{h}{2} \text{ সেমি।}$$

সাবধানতা : স্ক্রুটি সর্বদা একইদিকে ঘুরাইতে হইবে, নচেৎ পাঠে ভুল (back lash error) হইবে।

2.7 ভার্ণিয়ার মাইক্রোস্কোপ ও উহার ব্যবহার (Vernier Microscope and its uses)

ভার্ণিয়ার মাইক্রোস্কোপ একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (compound microscope)। এই মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে খুব ক্ষুদ্র দূরত্ব বা ব্যবধান (যেমন, কৈশিক নলের ব্যাস ইত্যাদি) মাপা যায়। এই মাইক্রোস্কোপের মূল স্কেলের সহিত একটি ভার্ণিয়ার স্কেলও থাকে বলিয়া ইহাকে ভার্ণিয়ার মাইক্রোস্কোপ বলে।



চিত্র : 2·7

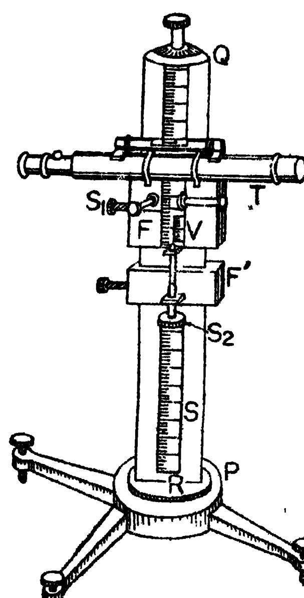
ইহাতে একটি অভিনেত্র লেন্স (eyepiece) এবং একটি অভিলক্ষ্য লেন্স (objective) থাকে। অভিলক্ষ্য লেন্সটি (O) কতকগুলি লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত এবং অভিনেত্র লেন্সটি (E) দুইটি লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত। কোন ক্ষুদ্র বস্তুর বিবর্ধিত সদ্‌বিম্ব অভিলক্ষ্য লেন্স দ্বারা গঠিত হয় এবং সেই বিবর্ধিত সদ্‌বিম্ব পুনরায় অভিনেত্র লেন্সের দ্বারা বিবর্ধিত হয় এবং এই চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অসদ্ এবং বস্তুর উল্টা হয়। মাইক্রোস্কোপটিকে একটি উলম্ব স্তম্ভ (PQ) বরাবর উঠানো-নামানো যায় (চিত্র 2·7) এবং প্রয়োজনে একটি স্ক্রু (S)-এর সাহায্যে স্থির রাখাও যায়।

একটি মূল স্কেল (M_1) ও তৎসংলগ্ন একটি ভার্ণিয়ার স্কেল (V_1)-এর সাহায্যে, মাইক্রোস্কোপটি কি পরিমাণ উঠানো-নামানো হইল, তাহা নির্ণয় করা যায়। আর একটি মূল স্কেল (M_2) ও আর একটি ভার্ণিয়ার স্কেল (V_2)-এর সাহায্যে মাইক্রোস্কোপটির অনুভূমিক তলে সরণ নির্ণয় করা যায়। ইহার অনুভূমিক তলে সরণ আর একটি স্ক্রু (S_2)-এর সাহায্যে করা যায়। সাধারণতঃ এই দুই ভার্ণিয়ারেরই ভার্ণিয়ার স্থিরাঙ্ক এক থাকে।

দুইটি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্যে অনুভূমিক বা উল্লম্ব দূরত্ব মাপিবার জন্য, প্রথমে মাইক্রোস্কোপের অভিনেত্রের মধ্যস্থ ক্রস-ওয়্যারকে (cross-wire) খুব স্পষ্টভাবে ফোকাস করিয়া, একটি বিন্দুর সহিত মিলাইতে হইবে। ইহার পর স্ক্রু ঘুরাইয়া (S_1 বা S_2) মাইক্রোস্কোপটিকে উল্লম্বভাবে বা অনুভূমিকতলে (প্রয়োজনমত) সরাইয়া, ক্রস-ওয়্যারটিকে আবার আর একটি বিন্দুতে ফোকাস করিতে হইবে। পুনরায় মূল স্কেল ও ভার্ণিয়ারের পাঠ লইতে হইবে। এই দুই পাঠের ব্যবধানই হইবে ঐ দুইটি বিন্দুর মধ্যে উল্লম্ব বা অনুভূমিক দূরত্ব। উল্লম্ব দূরত্ব মাপিবার সময়ে মাইক্রোস্কোপ নলটিকে অনুভূমিক এবং অনুভূমিক দূরত্ব মাপিবার সময়ে উল্লম্বভাবে রাখিতে হয়।

2.8 ক্যাথিটোমিটার : উহার গঠন ও ব্যবহার (Cathetometer : Its construction and uses)

দুইটি উল্লম্ব বিন্দুর মধ্যকার দূরত্ব সঠিকভাবে দূর হইতে মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। ইহাতে লম্বা একটি উল্লম্ব স্তম্ভ (PQ) আছে যাহা তিনটি পায়াযুক্ত একটি ভারী ধাতব বস্তুর (R) সঙ্গে যুক্ত থাকে (চিত্র 2·8)। তিনটি লেভেলিং স্ক্রু-এর সাহায্যে স্তম্ভটিকে উল্লম্ব করা যায়। উল্লম্ব অবস্থায় স্তম্ভটিকে উহার অক্ষের চারিদিকে ঘুরানো যায় এবং স্তম্ভের গাত্রে একটি মূল স্কেল (S) থাকে। স্তম্ভের গাত্রে একটি সঞ্চরণশীল ফ্রেম (F) আছে। সেইটি যখন স্তম্ভ বরাবর উঠানামা করে, তখন ঐ ফ্রেমসংলগ্ন একটি ভার্ণিয়ার স্কেল (V) মূল স্কেলকে স্পর্শ করিয়া চলে। এই ফ্রেমের সঙ্গে একটি টেলিস্কোপ (T) আটকানো থাকে যাহার নলকে অনুভূমিক রাখা হয়। স্তম্ভের গাত্রে ঐ টেলিস্কোপের সঠিক অবস্থান ঐ মূল স্কেল ও ভার্ণিয়ার স্কেল হইতে জানা যায়। টেলিস্কোপটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখার জন্য উহার গাত্রে একটি স্পিরিট লেভেল আটকানো থাকে। আর একটি



চিত্র : 2·8

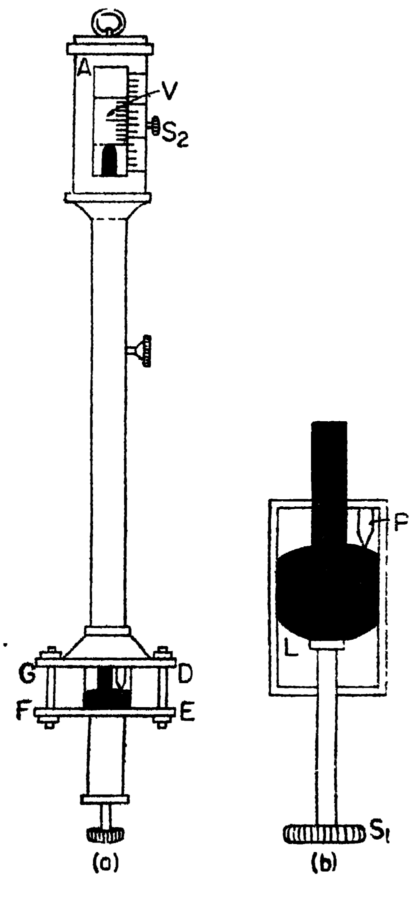
স্ক্রু (S_1)-এর সাহায্যে টেলিস্কোপটিকে ফোকাস করাও যায়। F ফ্রেমের নীচে আর

একটি ফ্রেম (F') আছে যাহার সহিত আর একটিমাইক্রোমিটার স্ক্রু (S_2) লাগানো থাকে। এই S_2 স্ক্রু এর সাহায্যে F ফ্রেমটিকে টেলিস্কোপসহ সামান্ত উঠানামা করানো যায়। টেলিস্কোপের অভিনেত্র লেন্সের মধ্যে একটি ক্রস-ওয়্যার থাকে যাহার সাহায্যে লক্ষ্য বস্তুকে ঠিকমত ফোকাস করা যায়।

ক্যাথিটোমিটার ব্যবহারের পূর্বে ইহাকে ঠিকমত উল্লম্বভাবে রাখা প্রয়োজন। টেলিস্কোপটিকে অনুভূমিক তলে রাখিয়া (স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে) এবং ক্রস-ওয়্যারকে ঠিকমত ফোকাস অবস্থায় আনিয়া, লক্ষ্য বস্তুকে ফোকাস করা প্রয়োজন। এই প্রাথমিক ব্যবস্থাদি (উল্লম্বকরণ, অক্ষীকরণ, ফোকাসিং ইত্যাদি) সম্পন্ন করিয়া ক্যাথিটোমিটারটিকে কার্যকরী অবস্থায় আনা প্রয়োজন।

2·9 ফর্টিন ব্যারোমিটার: উহার গঠন ও ব্যবহার (Fortin's Barometer : Its construction and uses)

বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপিবার জন্য যে-সমস্ত যন্ত্র ব্যবহৃত হয়, তাহাদের মধ্যে ফর্টিন ব্যারোমিটার অন্যতম। এই যন্ত্রে প্রায় এক মিটার লম্বা এবং এক বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি একমুখ খোলা (AB) কাচের নলী থাকে [চিত্র 2·9(a)]। ইহাকে বিশুদ্ধ পারদের দ্বারা পূর্ণ করিয়া একটি পারদপূর্ণ পাত্রে $(GDEF)$ উল্টা করিয়া রাখা হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপে ঐ পারদস্তম্ভ নামিয়া আসে এবং একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় দাঁড়ায়। এই পারদস্তম্ভের উচ্চতাই বায়ুমণ্ডলীয় চাপের নির্দেশক। একটি ধাতব নল এই কাচের নলটিকে ঘিরিয়া থাকে। নীচের পারদপাত্রের নিম্নাংশ (L) স্থায়ম চামড়ার দ্বারা তৈয়ারী এবং একটি স্ক্রু (S_1) এর সাহায্যে [চিত্র 2·9(b)] ঐ পাত্রের পারাতল উঠানো যায়। একটি আইভরি পিন (P) মূলস্কেলের শূন্যদাগ নির্দেশ করে। এই স্কেলের উপরের সামান্ত অংশ ধাতব-নলের উপরের দিকের খানিকটা কাটা অংশ মাধ্যমে দেখা যায়। মূলস্কেলের পাশেই একটি ভার্নিয়ার স্কেল (V) থাকে



চিত্র : 2·9(a) (b)

যাহাতে ইঞ্চি ও সেন্টিমিটার উভয়প্রকার দাগ থাকে। একটি স্ক্রু (S_2)-এর সাহায্যে এই ভার্ণিয়ারকে উঠানো-নামানো যায়।

বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করিতে হইলে, প্রথমে যন্ত্রটিকে খাড়াভাবে দেওয়ালে ঝুলানো হয়। পরে নীচের স্ক্রু (S_1) ঘুরাইয়া আইভরি পিনটিকে ঠিক পারদপৃষ্ঠে স্পর্শ করান হয়। এই অবস্থায় পারদপাত্রের পারদতল মূলস্কেলের শূন্যদাগের সহিত মিলিয়া যায়। স্ক্রু (S_2)-কে ঘুরাইয়া ভার্ণিয়ার স্কেলকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যে যেন ভার্ণিয়ারের নীচের প্রান্ত পারদস্তম্ভের উপরিভাগকে ঠিক স্পর্শ করে। এই অবস্থায় মূল স্কেলের পাঠ ও ভার্ণিয়ারের পাঠের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করা হয়।

ব্যারোমিটারের পাঠগ্রহণ পদ্ধতি ও বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় :

যখন আইভরি পিনের সূচীমুখ নীচের পাত্রের পারদতলকে এবং ভার্ণিয়ারের শূন্যদাগ পারদস্তম্ভের উপরিতলকে স্পর্শ করে, তখন যদি মূলস্কেলের পাঠ M সেমি হয়, ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ v এবং ভার্ণিয়ার গুণাঙ্ক c হয়, তাহা হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ $= M + v \times c$ সেমি পারদচাপের সমান

$= H$ সেমি (ধরা যাক)

অর্থাৎ, পরম এককে বায়ুমণ্ডলের চাপ হইবে

$P = H\rho g$ ডাইন/বর্গসেমি

যখন $\rho =$ পারদের ঘনত্ব (গ্রাম/ঘন সেমি)

$g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ (সেমি/বর্গ সেকেণ্ড)

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

ভার্ণিয়ারের ভার্ণিয়ার গুণাঙ্ক $= \cdots$ সেমি

$= \cdots$ ইঞ্চি

বায়ুর উষ্ণতা : পরীক্ষার পূর্বে (t_1°) $= \cdots {}^\circ C$

পরীক্ষার পরে (t_2°) $= \cdots {}^\circ C$

$\therefore$ গড় উষ্ণতা $(t^\circ C) = \dfrac{t_1^\circ + t_2^\circ}{2} = \cdots {}^\circ C$

পারদস্তম্ভের উচ্চতা (H) নির্ণয় :

ব্যবহৃত স্কেল	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেলের পাঠ (M)	ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ (v)	ভার্ণিয়ার পাঠের মান ($v \times c$)	মোট পাঠ $H=M+v\,c$	গড় মান (H)	সেমি ও ইঞ্চি স্কেলের অনুপাত
সেমি	1	…সেমি	…	…সেমি.	…সেমি		
	2	…	…	…	…		
	3	…	…	…	…	…সেমি	
	4	…	…	…	…		
							…………
	1	…ইঞ্চি	…	…ইঞ্চি	…ইঞ্চি		
ইঞ্চি	2	…	…	…	…		
	3	…	…	…	…	…ইঞ্চি	
	4	…	…	…	…		

আলোচনা : মনে করা যাক যে উপরে প্রাপ্ত পারদস্তম্ভের উচ্চতা (H) পাওয়া গেল $t°C$-এ। এই উচ্চতা ঠিক যথার্থ নয়, কারণ উষ্ণতার সহিত স্কেলের ধাতুরও প্রসারণ ঘটে। যদি α এবং γ যথাক্রমে ধাতুর এবং পারদের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক হয়, তাহা হইলে, 0°C-এ পারদস্তম্ভের সঠিক উষ্ণতা (H_0) হইবে,

$$H_0 = H\{1-(\gamma-\alpha)t\}$$

অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের চাপের প্রকৃত মান হইবে $P = H_0\rho g$

সাধারণতঃ মূল স্কেলটি পিতলের দ্বারা তৈয়ারী হয় যাহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (α) $= 18{\cdot}9 \times 10^{-6}/°C$

এবং পারদের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক (γ) $= 18{\cdot}2 \times 10^{-5}/°C$

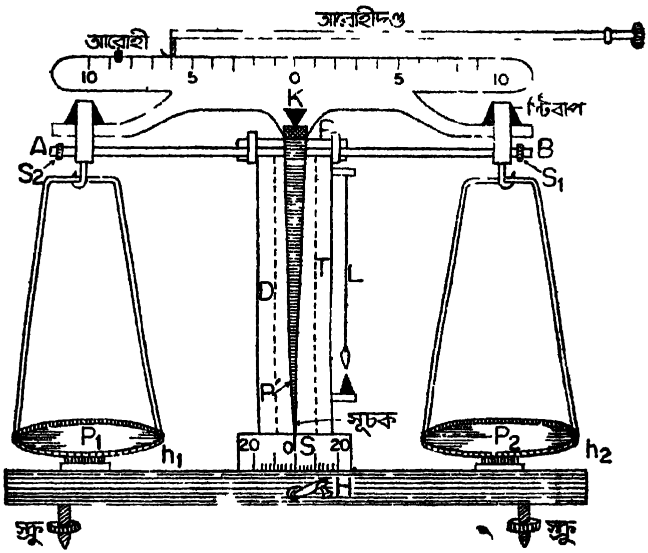
2.10. সাধারণ তুলাযন্ত্র ও উহার সাহায্যে বস্তুর ভর নির্ণয় (Common balance and determination of mass of a body with its help)

তুলাদণ্ড বা তুলাযন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর ভর মাপা হয়, অভিকর্ষীয় এককে প্রকাশিত বস্তুর ওজন ও ভরের সাংখ্যমান সমান। সেজন্য তুলাযন্ত্রের সাহায্যে ভর পরিমাপকে ওজন নির্ণয় করাও বলা হয়। সাধারণতঃ বাজারে যে-সমস্ত তুলাযন্ত্র (দাঁড়িপাল্লা) ব্যবহৃত হয়, তাহাদের সূক্ষ্মতা (accuracy) খুব বেশী নয়। কিন্তু পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত তুলাযন্ত্রের সূক্ষ্মতা খুব বেশী কারণ উহার সাহায্যে খুব কম ওজন (১ মিলিগ্রাম ও তাহা অপেক্ষাও কম) পরিমাপ করা যায়। এই জাতীয় তুলাযন্ত্রকে ব্যবহার

পদ্ধতির রীতিভেদে ভৌত তুলাযন্ত্র (physical balance) বা রাসায়নিক তুলাযন্ত্র (chemical balance) বলে। রাসায়নিক তুলাযন্ত্রের সূক্ষ্মতা অপেক্ষাকৃত বেশী হয়।

তুলাযন্ত্রের গঠন :

(i) পরীক্ষাগারে যে তুলাযন্ত্র সাধারণতঃ ব্যবহৃত হয়, তাহাতে একটি পিতলের তুলাদণ্ড (AB) থাকে। এই দণ্ডটি অনুভূমিক থাকে এবং ইহার দুই অর্ধের ওজন ও দৈর্ঘ্য সমান। এই দণ্ডের মধ্যখানে একটি অ্যাগেট পাথরের ছুরিফলক (agate knife edge K) আটকানো থাকে (চিত্র 2.10)। ওজন করিবার সময়ে তুলাদণ্ড এই ক্ষুরধারকে আলম্ব করিয়া উহার দুইদিকে দুলিতে পারে। ক্ষুরধার ফলাটি আবার একটি অ্যাগেট প্লেটের (P) উপর বসানো থাকে। এই প্লেটটি খাড়া ফাঁপা



চিত্র 2.10 : তুলাযন্ত্রের বিভিন্ন অংশ

থাম (T) এর মধ্যে অবস্থিত একটি নিরেট ধাতুদণ্ডের (D) উপর বসানো থাকে। তলভূমি সংলগ্ন একটি হাতল (H) ঘুরাইয়া ঐ নিরেট ধাতুদণ্ডকে উঠানো বা নামানো যায়।

(ii) P_1 ও P_2 দুইটি অ্যালুমিনিয়ামের পাত্র (pans) AB দণ্ডের দুইপার্শ্বে থাকে। AB দণ্ডের দুইপ্রান্তে অ্যাগেটনির্মিত দুইটি ত্রিকোণাকৃতি ছুরিফলা, K হইতে সমান দূরত্বে থাকে। এই ছুরিফলকদ্বয়ের উপর দুইটি স্টিরাপ (stirrup) বসানো থাকে। তুলাপাত্র (P_1, P_2) দুইটি এই স্টিরাপের নীচে হুকের সাহায্যে ঝুলানো থাকে।

(iii) AB দণ্ডের ঠিক মধ্যখানে একটি সরু কাঁটা (P') লম্বভাবে আবদ্ধ থাকে। ইহাকে তুলাদণ্ডের সূচক (pointer) বলে। ইহার উপরভাগ সামান্য চওড়া এবং

উহা মূলদণ্ডের সহিত আটকানো থাকে। ইহার নিম্নভাগ ক্রমশঃ সরু হইয়া শেষে নীচে আটকানো একটি অংশাঙ্কিত স্কেলের (S) উপর মুক্তভাবে থাকে। তুলাযন্ত্রটি সঠিকভাবে অনুভূমিক থাকিলে, সূচকের নিম্নপ্রান্ত ঐ স্কেলের ঠিক মধ্যভাগে (centre) থাকে।

(iv) তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তে দুইটি স্ক্রু (S_1S_2) থাকে। খালি অবস্থায় তুলাদণ্ডটি যদি কোন কারণে ঠিক অনুভূমিক না থাকে, তাহা হইলে এই স্ক্রুদ্বয়ের সাহায্যে উহাকে অনুভূমিক করা যায়।

(v) উলম্ব থাম (T)-এর সহিত যুক্ত একটি ছোট অনুভূমিক দণ্ড হইতে একটি ওলনদড়ি (plumbline) L ঝুলান থাকে। তুলাদণ্ডের স্তম্ভটি ঠিক উলম্বভাবে আছে কিনা, তাহা ইহার সাহায্যে বুঝা যায়।

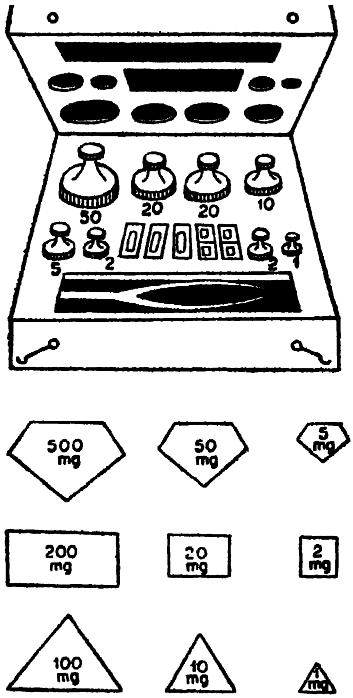
(vi) যদি তুলাযন্ত্রটি যথেষ্ট সূক্ষ্ম হয় এবং ওজনের বাক্সে নিম্নতম ওজন (সাধারণতঃ 10 মিলিগ্রাম) ব্যবহার করিয়াও কোন বস্তুর সঠিক ওজন নির্ণয় করা সম্ভব না হয়, তাহা হইলে আরোহীর (rider) সাহায্য লওয়া হয়। এই আরোহী একটি 10 মিলিগ্রাম ওজনের বাঁকানো ধাতব তার। ইহাকে তুলাদণ্ডের বাহুর বিভিন্ন অংশে বসাইয়া 10 মিলিগ্রাম অপেক্ষা কম ওজন পাওয়া যায়। সাধারণতঃ দাঁড়ির উপর আলম্ববিন্দুর উভয়দিকে সমান দশটি বড় দাগ কাটা থাকে। আরোহীকে যখন কোনদিকে যে কোন একটি দাগের উপর স্থাপন করা হয়, তখন তাহার দাগাঙ্ক যত হয়, তত মিলিগ্রাম সেইদিকে যোগ করা হইতেছে বলিয়া ধরা যায়।

(vii) সমগ্র তুলাযন্ত্রটি একটি তলভূমির (baseboard) উপর লাগানো থাকে। উহার নীচে তিনটি স্ক্রু যুক্ত থাকে, যাহার সাহায্যে তলভূমিক এবং তুলাদণ্ডের স্তম্ভকে উলম্ব করা যায়। এই স্থানেই ধাতুদণ্ডকে উঠানো-নামানোর জন্য হাতলটি (H) লাগানো থাকে। যখন তুলাযন্ত্রটি ব্যবহৃত হয় না, তখন হাতলটি ঘুরাইয়া, ধাতবদণ্ডটিকে নীচু করা হয়। এই অবস্থায় তুলাযন্ত্রটি উলম্ব দণ্ডটির সহিত যুক্ত দুইটি ধারকের (h_1h_2) উপর বসে।

(viii) তুলাযন্ত্রটি ব্যবহার করিবার সময়ে যাহাতে বায়ুপ্রবাহের দ্বারা প্রভাবিত না হয়, সেজন্য সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাচের বাক্সের ভিতর বসানো থাকে। কেবল হাতলটি (H) বাহিরে থাকে অথবা বাক্সের সম্মুখের ঢাকনাটি সামান্য খুলিয়া হাতলটি ঘুরাইয়া তুলাযন্ত্রটি ব্যবহার করা হয়।

(ix) তুলাযন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তুর ওজন নির্ণয় করিবার জন্য একটি বাটখারা বা ওজন-বাক্সের (weight box) প্রয়োজন হয়। ইহা একটি কাঠের বাক্স। ইহার ভিতর বিভিন্ন খাপে বিভিন্ন ধরনের ওজনের বাটখারা বা ওজন (200 গ্রাম, 100 গ্রাম···, ইত্যাদি) থাকে। এগুলি পিতলের বা লোহার উপর নিকেলিং করিয়া তৈয়ারী করা হয়। প্রত্যেকটির গাত্রে তাহার নিজস্ব ভর লেখা থাকে। এক গ্রাম কম ভরের ওজনগুলি বিভিন্ন জ্যামিতিক আকারের হয় এবং ঐগুলি তুলিবার জন্য একটি চিমটা (forceps) থাকে। ওজন বাক্স হইতে ওজন ব্যবহার

করিবার সময়ে, সর্বদা এই চিম্‌টা ব্যবহার করা উচিত। কখনো হাতের দ্বারা ওজনগুলি তোলানামা করা উচিত নয়। 5 মিলিগ্রাম ও তাহার দশগুণিতকগুলি পঞ্চভুজের মত (pentagonal); 2 মিলিগ্রাম ও তাহার দশগুণিতকগুলি আয়তাকার (rectangular) এবং 1 মিলিগ্রাম ও তাহার দশগুণিতকগুলি ত্রিভুজাকৃতি (triangular) হইয়া থাকে (চিত্র 2.11)।



চিত্র 2.11 : ওজন-বাক্স

2.11 তুলাযন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর ভরনির্ণয় (To weigh a body by a common balance)

মূলনীতি (Principle):

তুলাযন্ত্রের প্রাথমিক উপযোজনগুলি (adjustments) করিয়া লইয়া যদি বামপাল্লায় প্রদত্ত বস্তুটি (M) রাখিয়া, ডানপাল্লায় W গ্রাম ওজনের বাট্‌খারা রাখা যায় এবং ইহাতে যদি সূচকের স্থির অবস্থান বা দুইপার্শ্বে সমদোলন পাওয়া যায়, তাহা হইলে আলম্বের দুইপার্শ্বে ভ্রামকের মান সমান হইবে। সেক্ষেত্রে যদি তুলাদণ্ডের আলম্বের পার্শ্বের বাহুদ্বয়ের দৈর্ঘ্য l হয় (সমান) তাহা হইলে

$$M'g = Wgl \quad \text{বা} \quad M = W$$

সুতরাং, W-এর মান (বাটখারার) জানা থাকিলে, প্রদত্ত বস্তুটির ভরও জানা যাইবে, অর্থাৎ

বাটখারার ভর (W) = বস্তুটির ভর (M)

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে তুলাদণ্ডে কিছু না চাপাইয়া দুই পাল্লাকে পরিষ্কার করিয়া হাতল ঘুরাইয়া দেখা হইল যে, সূচক ঠিকমত স্কেলের কেন্দ্রবিন্দুতে আছে কিনা। তাহা না থাকিলে, প্রান্তিক স্ক্রুদ্বয়কে (S_1, S_2) ঘুরাইয়া সূচকটিকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যে, যেন উহা স্কেলের মধ্যভাগের দুই পার্শ্বে সমান দূরত্ব পর্যন্ত দোলে।

(ii) এইবার প্রদত্ত বস্তুকে তুলাযন্ত্রের বামপাল্লায় রাখিয়া, ডানপাল্লায় প্রয়োজনীয় বাটখারা বা ওজন, বাক্স হইতে লইয়া রাখিতে হইবে। ঠিক পরিমাণ ওজন রাখিলে, সূচকটি হয় স্কেলের মধ্যদাগে অবস্থান করিবে নয়ত ঐ দাগের দুইপার্শ্বে সমান দূর পর্যন্ত দুলিবে। এই অবস্থায় বস্তুটির ভর (M) বাটখারার ভরের (W) সমান।

(iii) যদি ওজন বাক্সের সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম ওজন দ্বারাও এই সাম্য অবস্থা না পাওয়া যায়, তাহা হইলে আরোহীর (rider) সাহায্য লইতে হইবে এবং আরোহীকে আগেপরে সরাইয়া ঐ সাম্য অবস্থা আনিতে হইবে।

(iv) আরোহীটি যদি 10 মিলিগ্রামের হয় এবং সাম্য অবস্থায় আনিতে যদি উহাকে তুলাদণ্ডের বাহুর উপর (ডানদিকে বা বামদিকে) x-ঘর দূরে সরাইতে হয়, তাহা হইলে ডানপাল্লায় স্থাপিত ভরের (W) সহিত $\frac{x}{1000}$ গ্রাম **যোগ** বা **বিয়োগ** করিতে হইবে। অর্থাৎ, প্রদত্ত বস্তুটির প্রকৃত ভর হইবে

$$M = W \pm \left(\frac{x}{1000}\right) \text{ গ্রাম।}$$

সাধারণতঃ তুলাযন্ত্রে সূচকটি অনেকক্ষণ ধরিয়া স্কেলের উপর দুলিতে থাকে। সেই অবস্থায় সময়সংক্ষেপের জন্য সূচকের সাম্য অবস্থানের পাঠ হইতে (স্কেলের মধ্যভাগ ব্যতীত) বস্তুর ওজন নির্ণয় করা সম্ভব।

(v) মনে করা যাক যে সূচকের সাম্য অবস্থানের পাঠ (যখন স্কেলের বাম প্রান্তকে O দাগ ধরা হয়)

(a) যখন উভয় পাল্লা শূন্যভার অবস্থায়—P

(b) যখন বামপাল্লায় বস্তুটি এবং ডান-পাল্লায় W গ্রাম রাখা অবস্থায়—Q

(c) যখন বামপাল্লায় বস্তুটি এবং ডান-পাল্লায় W গ্রাম ও অতিরিক্ত m মিলিগ্রাম রাখা অবস্থায় (বাটখারা বা আরোহীর সাহায্যে)—R

দেখানো যায় যে, এই অবস্থায় বস্তুর ভর (M) হয়,

$$M = W + \left(\frac{Q-P}{Q-R} \times \frac{m}{1000}\right) \text{ গ্রাম।}$$

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে, সূচকের সাম্য অবস্থান নির্ণয়ের জন্য দোলন অবস্থায় উহার বামপ্রান্তের তিনটি পাঠ ও ডানপ্রান্তে দুইটি পাঠ প্রতিক্ষেত্রে লওয়া প্রয়োজন। বামপ্রান্তের ও ডানপ্রান্তের পাঠের পৃথক পৃথক গড় পাঠ হইতে, সূচকের স্থিরাবস্থান নির্ণয় করা সম্ভব। নিম্নে প্রদত্ত সারণী হইতে ইহা বুঝা যাইবে।

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

প্রথম পদ্ধতি :

প্রদত্ত বস্তু	ডান তুলাপাত্রে বাট্‌খারা		সূচকের গতি	মন্তব্য
	গ্রাম	মিলিগ্রাম		
বাম তুলাপাত্র	...	...	বামদিকে	বাট্‌খারার ভর বেশী
	...	...	ডানদিকে	„ „ কম
	...	..	...	...
	.	.	..	...
	...	...	...	..
	..	...	উভয়দিকে সমান	বস্তু ও বাট্‌খারার ভর সমান

দ্বিতীয় পদ্ধতি (নমুনা পাঠ) :

বাম পাল্লার ভর	ডানপাল্লার ভর	দোলন সূচকের পাঠ		গড় পাঠ		স্থিরাবস্থান (a) ও (b) এর	বস্তুর ভর $M = W + \frac{Q-P}{Q+P} \times \frac{m}{1000}$ (গ্রাম)
		বাম	ডান	বাম (a)	ডান (b)		
শূন্য	শূন্য	4 6 7	18 17	5 7	17 5	11·6 (P)	
বস্তু	W গ্রাম	3 4 5	13 12	4	12·5	8·25 (Q)	....
বস্তু	W গ্রাম+ $\frac{m}{1000}$ গ্রাম	1 2 3	10 9	2	9·5	5·75 (R)	

সতর্কতা (Precautions) :

(i) পাল্লায় ওজন চাপাইবার সময়ে বা নামাইবার সময়ে প্রতিবার পাল্লাটিকে ;-এর সাহায্যে আটকাইয়া লইয়া উহার দোলন বন্ধ করিয়া রাখিতে হইবে ;

(ii) ওজন লইবার সময়ে কাচের বাক্সের দরজা বন্ধ করিয়া রাখিতে হইবে ;

(iii) ওজন পাল্লা হইতে নামাইয়া বাক্সের মধ্যে ফিরাইয়া রাখিবার পূর্বে তাহাদের সঠিক মান লিপিবদ্ধ করিয়া রাখিতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ তুলাযন্ত্রের সাহায্যে কি মাপা হয় ; ভর না ভার ?

উঃ ভর মাপা হয়।

প্রঃ কোন বস্তুর ভর ও ভারের মধ্যে পার্থক্য কি ?

উঃ বস্তুর মধ্যস্থ পদার্থের পরিমাণকে উহার ভর বলে আর পৃথিবী বস্তুকে যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে, সেই বলকে উহার ভার বলে। ইহাই তাহার ওজন। বস্তুর ভ- সর্বত্র সমান কিন্তু উহার ভার বা ওজন বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন রকমের হয় (অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের পরিবর্তন অনুসারে)।

প্রঃ *বস্তুকে তুলাযন্ত্রের বামপাল্লায় এবং ওজন ডানপাল্লায় রাখা হয় কেন ?*

উঃ *যে বস্তুর ভর নির্ণয় করিতে হইবে, তাহা অপরিবর্তনীয় কিন্তু বাট্‌খারা পরিবর্তনীয়।* এজন্য পরিবর্তনীয় বাট্‌খারা সর্বদা ডানপাল্লায় রাখা হয়, যাহাতে উহা পরিবর্তন করিতে সুবিধা হয়।

(প্রসঙ্গত দোকান-বাজারে দাঁড়িপাল্লা ব্যবহারে ওজন-বাট্‌খারা কিরূপে ব্যবহার করা হয়, সে সম্বন্ধে চিন্তা করা প্রয়োজন।)

প্রঃ অত্যন্ত উষ্ণ বা শীতল বস্তুর ভর তুলাদণ্ডে মাপা হয় না কেন ?

উঃ এর ফলে বস্তুসংলগ্ন বায়ু উত্তপ্ত বা শীতল হওয়ার জন্য বস্তুর চারিপাশে বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি হয় (convection current)। সেজন্য তুলাদণ্ড সাম্য অবস্থা হইতে বিচ্যুত হয়।

প্রঃ তুলাদণ্ডে বাট্‌খারা পরিবর্তন করিবার সময়ে তুলাদণ্ড মুক্ত রাখা হয় না কেন ?

উঃ ইহাতে তুলাদণ্ড বাট্‌খারার চাপে আন্দোলিত হইয়া স্থানচ্যুত হইতে পারে এবং ফলে অ্যাগেট পাথরের ক্ষুরধারটি নষ্ট হইয়া যাইতে পারে।

তৃতীয় অধ্যায়
পদার্থের সাধারণ ধর্ম-বিষয়ক পরীক্ষাসমূহ
(Experiments on General Properties of Matter)

3.1 ভারকেন্দ্রের মধ্যদিয়াগামী দৈর্ঘ্যের সমকৌণিক অক্ষরেখাভিত্তিক কোন বস্তুর জাড্য-ভ্রামক নির্ণয় (Determination of the Moment of Inertia of a body about an axis passing through its C. G. and perpendicular to its length)

মূলতত্ত্ব (*Theory*):

যদি কেবলমাত্র দোলনার দোলনকাল T_0 হয় এবং প্রদত্ত অক্ষ বরাবর উহার জাড্য-ভ্রামক I_0 হয়, তাহা হইলে

$T_0 = 2\pi\sqrt{I_0/C}$ (3.1 *a*) C লম্বনতারের নিম্ন প্রান্তকে এক রেডিয়ান মোচড়াইতে প্রয়োজনীয় টর্ক।

আবার যদি দোলনার উপর স্থাপিত কোন বস্তুসমেত (যাহার জাড্য-ভ্রামক I_1 জানা আছে) দোলনার দোলনকাল T_1 হয়, তাহা হইলে,

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + I_1}{C}} \quad \cdots \quad (3.1b)$$

এবং যদি দোলনার উপর স্থাপিত প্রদত্ত বস্তুসমেত (যাহার জাড্য-ভ্রামক I_2 নির্ণয় করিতে হইবে) দোলনার দোলনকাল T_2 হয়, তাহা হইলে,

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + I_2}{C}} \quad \cdots \quad (3.1c)$$

এই তিনটি সমীকরণ হইতে

$$I_0 = \frac{CT_0^2}{4\pi^2}\,; \quad I_1 + I_0 = \frac{CT_1^2}{4\pi^2}$$

$$\text{এবং } I_2 + I_0 = \frac{CT_2^2}{4\pi^2}$$

$$\text{সুতরাং, } I_2 = I_1 \cdot \frac{T_2^2 - T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} \quad \cdots \quad (3.1d)$$

অর্থাৎ, একটি বস্তুর জাড্য-ভ্রামক I_1 জানা থাকিলে, দোলনকাল পরিমাপের সাহায্যে, অজানা জাড্য-ভ্রামক I_2 নির্ণয় করা যায়।

সাধারণতঃ, যে বস্তুটির জাড্য-ভ্রামক (I_1) জানা থাকিবে, সেটি একটি চোঙাকৃতি বা আয়তাকৃতির দণ্ডের আকারে লওয়া হয় এবং সেক্ষেত্রে

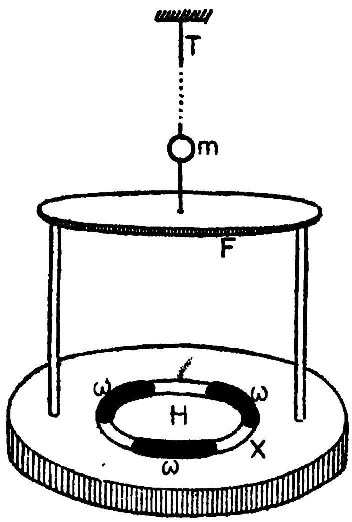
$$I_1 = M\left(\frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4}\right) \quad \cdots \quad \text{চোঙাকৃতির ক্ষেত্রে}$$

$$\text{বা, } I_1 = \frac{M}{12}(l^2 + b^2) \quad \cdots \text{ আয়তাকৃতির ক্ষেত্রে}$$

এখানে, M = দণ্ডের ভর ; l, b ও r যথাক্রমে দণ্ডের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ বা ব্যাসার্ধ।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

যে দোলনযন্ত্রটি ব্যবহার করা হয়, তাহার গঠনপ্রকৃতি এমন যে, তাহাকে এককভাবে বা তাহার উপর কোন বস্তু চাপাইয়া, বস্তুসমেত উহার দোলনকাল নির্ণয় করা যায়। এটি একটি গোলাকার অনুভূমিক ধাতব-চাকতি (X) যাহা একটি ফ্রেমের সহিত (F) দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া থাকে (চিত্র 3.1)। ফ্রেমটিকে একটি তারের দ্বারা (T) ঝুলাইয়া দোলনা তৈয়ারী করা হয়। দোলনার চাকতিকে অনুভূমিক রাখিবার জন্য দোলনার সমকেন্দ্রিক একটি গোল গর্ত (H) থাকে যাহার



চিত্র 3.1 : জাড্য-ভ্রামক নির্ণয়

মধ্যে কয়েকটি ছোট ছোট ভার (W) থাকে। এই ভারগুলিকে সরাইয়া চাকতিকে অনুভূমিক অবস্থায় আনা যায় এবং স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে অনুভূমিক অবস্থা বুঝা যায়। দোলনার দোলনকাল একটি টেলিস্কোপ ও স্কেলের সাহায্যে নির্ণয় করার জন্য তারের (T) সহিত একটি ছোট দর্পণ (m) লাগানো থাকে। সমগ্র যন্ত্রটিকে একটি কাচের বাক্সের মধ্যে রাখা হয় যাহাতে, ইহা বায়ুপ্রবাহের দ্বারা বিঘ্নিত না হয়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) যে বস্তুটির জাড্য-ভ্রামক জানা থাকার কথা, তাহার ভর (সাধারণতঃ বেশী হওয়ায়) একটি তুলাদণ্ডের সাহায্যে নির্ণয় করিয়া লওয়া হয়। উহার দৈর্ঘ্য (l) একটি স্কেলের সাহায্যে এবং ব্যাসার্ধ বা প্রস্থ (r বা b) একটি স্লাইড ক্যালিপার্সের

সাহায্যে নির্ণয় করিয়া লওয়া হয়। এই মানগুলি প্রয়োজনীয় সূত্রে বসাইয়া, I_1 এর মান পাওয়া যায়।

(ii) দোলনটিকে সামান্য একটু ঘুরাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহার দোলন শুরু হইবে। উহার 20টি পূর্ণ দোলনের কি সময় লাগে (t_0) তাহা স্টপ ঘড়ির সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। উহা হইতে দোলনকাল (T_0) পাওয়া যাইবে ($T_0 = t_0/20$)।

(iii) এইবার জানা বস্তুটিকে দোলনার উপর এমনভাবে বসাইতে হইবে যে, উহার ভারকেন্দ্র প্রলম্বিত তার বরাবর থাকে। এই বস্তুসমেত দোলনাটিকে আবার দোলাইয়া, পূর্বের ন্যায়, উহার দোলনকাল (T_1) নির্ণয় করিতে হইবে।

(iv) শেষে যে বস্তুটির জাড্য-ভ্রামক নির্ণয় করিতে হইবে, তাহাকে দোলনার উপর পূর্বের ন্যায় বসাইয়া, পুনরায় বস্তুসমেত দোলনার দোলনকাল (T_2) নির্ণয় করিতে হইবে।

(v) এখন, T_0, T_1, T_2 এবং I_1এর মান (3·1*d*) সমীকরণে বসাইলে, অজানা বস্তুর জাড্য-ভ্রামক (I_2) পাওয়া যাইবে।

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results) :

(A) জানা বস্তুর দৈর্ঘ্য (l) এবং ব্যাসার্ধ (r) বা প্রস্থ (b) স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে নির্ণয় করিতে হইবে। এই পদ্ধতিতে (2.4) এর সারণী অনুযায়ী সারণী (table) তৈয়ারী করিতে হইবে।

সারণী—I

(B) তুলাদণ্ডের সাহায্যে জানা বস্তুর ভর (M) নির্ণয় করিতে হইবে।
[2.10-এর প্রথম পদ্ধতির সারণী অবলম্বন করিতে হইবে]

সারণী—II

(C) **জানা বস্তুর জাড্য-ভ্রামকের মান নির্ণয়**

সারণী—III

বস্তুর ভর (M) গ্রাম	বস্তুর দৈর্ঘ্য (b) সেমি	বস্তুর ব্যাসার্ধ (r) বা প্রস্থ (b) সেমি	বস্তুর জাড্য-ভ্রামক (I_1) গ্রাম বর্গসেমি
...	...	...	...
...		...	
...		...	..

(D) বিভিন্ন অবস্থায় দোলনের দোলনকাল নির্ণয়

সারণী—IV

দোলায়মান বস্তু	20টি দোলনের সময়	গড় সময় (t)	দোলনকাল ($t/20$)
শুধুমাত্র দোলনা	সেকেণ্ড .. সেকেণ্ড ... সেকেণ্ড	.. সেকেণ্ড	... সেকেণ্ড (T_0)
দোলনা+জানা বস্তু	... সেকেণ্ড . সেকেণ্ড ... সেকেণ্ড	সেকেণ্ড	... সেকেণ্ড (T_1)
দোলনা+অজানা বস্তু	.. সেকেণ্ড ... সেকেণ্ড সেকেণ্ড	সেকেণ্ড	.. সেকেণ্ড (T_2)

(E) **গণনা** (Calculations) :

$I_1 = \cdots\cdots$ · গ্রাম বর্গসেমি

$$I_2 = I_1 \frac{T_2^2 - T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} = \cdots \text{—গ্রাম বর্গসেমি}$$

সতর্কতা

(i) দোলনকালে দোলনের বিস্তার যেন খুব বেশী না হয়,

(ii) দোলন যেন শুধুমাত্র তার মোচড়ানোর জন্যই হয়, অন্য কোনরূপ দোলন যেন, দোলনার দোলনকে প্রভাবিত না করে,

(iii) বস্তুর ভারকেন্দ্র যাহাতে দোলনের অক্ষরেখা বরাবর থাকে, সেবিষয়ে লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্র: কোন বস্তুর জাড্য-ভ্রামক ও চক্রগতির ব্যাসার্ধ (radius of gyration) বলিতে কি বুঝ ?

উ: যদি ঘূর্ণনঅক্ষ হইতে m-ভরবিশিষ্ট কোন কণা K দূরে থাকে, তাহা হইলে বস্তুর জাড্য-ভ্রামক হইবে mK^2। আবার M ভরের কোন বস্তুর জাড্য-ভ্রামক যদি ঐ একই ভরের কোন কণার জাড্য-ভ্রামকের সহিত সমান হয়, তাহা হইলে কণার ঘূর্ণন অক্ষ হইতে দূরত্বকে (K) তাহার চক্রগতির ব্যাসার্ধ বলে। তখন বস্তুর জাড্য-ভ্রামক হইবে MK^2। জাড্য-ভ্রামকের একক যথাক্রমে গ্রাম-বর্গসেমি বা পাউণ্ড-বর্গফুট।

প্রঃ ঘূর্ণন-অক্ষ ভিন্ন হইলে কি জাড্য-ভ্রামক ভিন্ন হইবে ?

উঃ হাঁ, কারণ ঘূর্ণন অক্ষ পরিবর্তিত হইলে, K-এর মান পরিবর্তিত হয়। ফলে ভর এক থাকিলেও, MK^2-এর মান ভিন্ন হইবে।

প্রঃ এক্ষেত্রে দোলন কি ধরনের ?

উঃ এই দোলন কৌণিক সরল পর্যাবৃত্ত ধরনের।

প্রঃ দোলনকাল কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ দোলনকাল ঝুলানো বস্তুর জাড্য-ভ্রামক এবং যে তারের সাহায্যে দোলন ঝোলে, তাহার মাপ (dimension) ও উপাদানের (material) উপর নির্ভর করে।

প্রঃ কি ধরনের তার গ্রহণ করা উচিত ?

উঃ সরু অথচ লম্বা ধরনের তার গ্রহণ করা বাঞ্ছনীয়। তখন দোলনকাল বেশী হইবে এবং তাহা সূক্ষ্মভাবে মাপা যাইবে।

প্রঃ বস্তুর ভারকেন্দ্র (C. G.) যে বাঞ্ছিত অক্ষরেখারই উপর আছে তাহা কিরূপে বোঝা যায় ?

উঃ বস্তুর জাড্য-ভ্রামক তিনটি অক্ষরেখাভিত্তিক নির্ণয় করিতে হইবে। আন্দাজে, একটি ভারকেন্দ্রের মধ্যগামী রেখা এবং অপর দুইটি রেখা আন্দাজে স্থিরীকৃত ভারকেন্দ্রের দুইপার্শ্বে অবস্থিত দুই বিন্দু দিয়া যাইবে। এই তিনটি অক্ষরেখাভিত্তিক জাড্য-ভ্রামকের পাঠগুলির মধ্যে, যে অক্ষরেখাবরাবর জাড্য-ভ্রামকের মান সর্বাপেক্ষা কম হইবে, সেই অক্ষরেখাই বস্তুর ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া গিয়াছে বলিয়া বুঝিতে হইবে।

3.2 আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে জলে অদ্রাব্য কঠিন চূর্ণাকার পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of Specific Gravity of a granular solid insoluble in water by a Sp. Gravity bottle)

মূলনীতি (Theory):

কোন পদার্থের কোন নির্দিষ্ট আয়তনের ওজন এবং $4^\circ C$ উষ্ণতায় উহার সম-আয়তন জলের ওজনের অনুপাতকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে।

$$\text{সুতরাং, আপেক্ষিক গুরুত্ব } (S) = \frac{\text{যে কোন আয়তনের বস্তুর ওজন}}{\text{সমআয়তন জলের } (4^\circ C) \text{ ওজন}}$$

যদি পরীক্ষায় ব্যবহৃত জলের উষ্ণতা $t^\circ C$ হয়, এবং যদি জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $t^\circ C$ উষ্ণতায় ρt হয়, তাহা হইলে, পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$S = \frac{\text{যে কোন আয়তনের বস্তুর ওজন}}{\text{সমআয়তন জলের } (t^\circ c) \text{ ওজন}} \times \rho t$$

মনে করা যাক্‌,

শূন্য অবস্থায় আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন $= W_1$ গ্রাম

বোতল + আংশিকভাবে পূর্ণ পদার্থের ওজন $= W_2$ গ্রাম

বোতল + আংশিকভাবে পূর্ণ পদার্থ + বাকী অংশ জলদ্বারা

ভর্তি করিয়া ওজন $= W_3$ গ্রাম

এবং বোতল + সম্পূর্ণভাবে জলভর্তি অবস্থায় ওজন $= W_4$ গ্রাম

$\therefore$ পদার্থের ওজন $= (W_2 - W_1)$ গ্রাম

বোতলের ভিতর সমআয়তন জলের ওজন $=(W_4-W_1)$ গ্রাম এবং বোতলের ভিতরে কঠিন পদার্থ ব্যতীত বাকী আয়তন জলের ওজন $=(W_3-W_2)$ গ্রাম

অতএব, পদার্থের সমআয়তন জলের ওজন $=(W_4-W_1)-(W_3-W_2)$ গ্রাম

$$\therefore \text{ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব } (S)=\frac{W_2-W_1}{(W_4-W_1)-(W_3-W_2)}\times \rho t \quad \cdots\ 3.2\ (a)$$

যন্ত্রাদি (Apparatus) :

আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (চিত্র 3.2); ওজন বাক্স ; পরীক্ষাধীন পদার্থ; থার্মোমিটার।



চিত্র 3.2 : আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলটিকে প্রথমে লঘু NaOH দ্রবণ, পরে লঘু HNO_3 এবং শেষে জল দ্বারা ভাল করিয়া পরিষ্কার করা হইল। ইহার পর বোতলটিকে ভাল করিয়া শুষ্ক করিয়া লইতে হইবে ;

(ii) তুলাযন্ত্রটির প্রাথমিক উপযোজনগুলি সম্পন্ন করিয়া শূন্য বোতলটিকে (ছিপিসহ) বামপাল্লায় রাখিয়া উহার ওজন (W_1) লওয়া হইল ;

(iii) বোতলটিকে আংশিকভাবে পরীক্ষাধীন পদার্থচূর্ণ দ্বারা পূর্ণ করিয়া (প্রায় এক-তৃতীয়াংশ) পুনরায় উহার ওজন (W_2) লওয়া হইল ;

(iv) ইহার পর ছিপি খুলিয়া আংশিকভাবে পদার্থপূর্ণ বোতলের বাকী অংশটুকু জল দ্বারা পূর্ণ করা হইল এবং উহার ওজন লওয়া হইল (W_3) ;

(v) সবশেষে, বোতল হইতে সমস্ত জল ও পদার্থচূর্ণ ফেলিয়া দিয়া, ভালভাবে জলে ধুইয়া বোতলটিকে সম্পূর্ণভাবে জলপূর্ণ করিয়া আবার উহার ওজন (W_4) লওয়া হইল ;

(vi) একটি সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের উষ্ণতা ($t°C$) মাপা হইল ;

(vii) সম্ভব হইলে, ভিন্ন আয়তনের আর একটি আপেক্ষিক গুরুত্বের বোতল লইয়া সমগ্র পরীক্ষাটি পুনরায় করিয়া আর এক দফা পাঠ লওয়া যাইতে পারে। অন্য আয়তনের বোতল না পাওয়া যাইলে, ভিন্ন পরিমাণ পদার্থচূর্ণ দ্বারা বোতলটি ভর্তি করিয়া সমস্ত পাঠগুলি পুনরায় লওয়া যাইতে পারে।

ফল (Results) :

জলের উষ্ণতা ($t°C$) = ……°C

$t°C$-এ জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব = … ..

পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	শূন্য বোতলের ওজন (W_1) গ্রাম	বোতল+পদার্থের ওজন (W_2) গ্রাম	বোতল+পদার্থ+বাকী অংশ জলের ওজন (W_3) গ্রাম	বোতল+সম্পূর্ণ জল-এর ওজন (W_4) গ্রাম	পদার্থের ওজন ($W_2 - W_1$) গ্রাম	পদার্থের সমআয়তন জলের ওজন ($(W_4 - W_1) - W_3 - W_2$) গ্রাম	আপেক্ষিক গুরুত্ব (S)	গড় আপেক্ষিক গুরুত্ব (S)
1								
2								
3								

সতর্কতা (Precautions).

(i) প্রতিবার ওজন লওয়ার সময়ে বোতলটির ছিপি সঠিকভাবে লাগানো থাকা প্রয়োজন ;

(ii) বোতলের ভিতর যেন কোন অবস্থাতেই বায়ুর বুদ্‌বুদ্‌ না থাকে ;

(iii) ছিপি ঠিকমত লাগানোর ফলে, যে তরলটুকু তাহার ছিদ্রপথে নির্গত হইবে, তাহা একটি কাপড় বা ব্লটিং পেপারের সাহায্যে শোষণ করিয়া লইতে হইবে ;

(iv) বোতলটি ধরিবার সময়ে উহার গলার নিকট (neck) ধরা উচিত ;

(v) বোতলের প্রায় এক-তৃতীয়াংশ পদার্থচূর্ণ দ্বারা ভর্তি করা বাঞ্ছনীয়।

3.3 আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে জলে দ্রাব্য কঠিন চুর্ণাকার পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of Specific Gravity of a granular solid soluble in water by a Sp. Gravity bottle)

মূলনীতি (Theory) : সংজ্ঞানুসারে, কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$S = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তন পদার্থের ওজন}}{\text{সমআয়তন জলের (} t°C \text{) ওজন}} \times \rho t$$

যখন $\rho t = t°C$ উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

জলে দ্রাব্য বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন নির্ণয় করিতে হইলে, যে তরলে বস্তুটি দ্রাব্য নয়, সেরূপ কোন একটি তরলের সাহায্য লইতে হয়। উপরিউক্ত সংজ্ঞা হইতে দেখা যায় যে,

$$S=\frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তন পদার্থের ওজন}}{t^{\circ}C\text{ উষ্ণতায় সমআয়তন তরলের ওজন}}\times\frac{t^{\circ}C\text{ উষ্ণতায় সমআয়তন তরলের ওজন}}{t^{\circ}C\text{ উষ্ণতায় সমআয়তন জলের ওজন}}\times \rho t$$

$$=\frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তন পদার্থের ওজন}}{t^{\circ}C\text{ উষ্ণতায় সমআয়তন তরলের ওজন}}\times\frac{t^{\circ}C\text{ উষ্ণতায় আ: গু: বোতলের আয়তনের তরলের ওজন}}{t^{\circ}C\text{ উষ্ণতায় আ: গু: বোতলের আয়তনের জলের ওজন}}\times \rho t$$

মনে করা যাক,

শূন্য অবস্থায় বোতলের ওজন $=W_1$ গ্রাম

বোতল+পদার্থের ওজন $=W_2$ গ্রাম

বোতল+পদার্থ+তরলের (বোতলকে পূর্ণ করিতে) ওজন $=W_3$ গ্রাম

তরলপূর্ণ বোতলের ওজন $=W_4$ গ্রাম

জলপূর্ণ বোতলের ওজন $=W_5$ গ্রাম

$\therefore$ পদার্থের ওজন $=(W_2-W_1)$ গ্রাম

কঠিন পদার্থ দ্বারা আংশিক পূর্ণ বোতলের বাকী অংশে সমান আয়তনের তরলের ওজন $=(W_3-W_2)$ গ্রাম

বোতলের আয়তনের তরলের ওজন $=(W_4-W_1)$ গ্রাম

" " জলের ওজন $=(W_5-W_1)$ গ্রাম

$\therefore$ কঠিন পদার্থের সমআয়তন জলের ওজন $=(W_4-W_1)-(W_3-W_2)$ গ্রাম অতএব, পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$S=\frac{(W_2-W_1)}{(W_4-W_1)-(W_3-W_2)}\times\frac{(W_4-W_1)}{(W_5-W_1)}\times t\rho$$

যন্ত্রাদি (Apparatus) :

আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল ; তুলাযন্ত্র ও ওজন বাক্স ; পরীক্ষাধীন পদার্থ ; তরল যাহাতে পদার্থটি অদ্রাব্য ; থার্মোমিটার

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

পূর্ববর্তী পরীক্ষার (3.2) পরীক্ষা-পদ্ধতির (i) হইতে (iv) পর্যন্ত ধাপগুলি যথাক্রমে সম্পন্ন করিতে হইবে। ইহার পর বোতলটি ভালভাবে পরিষ্কার করিয়া লইয়া উহাকে ঐ তরলদ্বারা পূর্ণ করিতে হইবে (যাহাতে পদার্থটি অদ্রাব্য) এবং উহার ওজন লওয়া হইল (W_4) সবশেষে, বোতলটি পরিষ্কার করিয়া উহা সম্পূর্ণরূপে জলদ্বারা ভর্তি করিয়া

ওজন লইয়া হইল (W_5)। পূর্ববর্তী পরীক্ষার (3.2) (vi) এবং (vii) ধাপদ্বয় ইহার পর অনুসরণ করিতে হইবে।

ফল (Results) :

জলের উষ্ণতা ($t^\circ C$) = ... °C

$t^\circ C$ এ জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব = ...

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	শূন্য বোতলের ওজন (W_1) গ্রাম	বোতল+ পদার্থের ওজন (W_2) গ্রাম	বোতল+ পদার্থ+ জলের ওজন (W_3) গ্রাম	বোতল+ সম্পূর্ণ তরলের ওজন (W_4) গ্রাম	বোতল+ সম্পূর্ণ জলের ওজন (W_5) গ্রাম	আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2) \times \frac{W_4 - W_1}{W_5 - W_1}} \times \rho t$	গড় আপেক্ষিক গুরুত্ব (S)
1	...	...	...	...		.	...
2	...	...	...	.	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	.	..	...	...

সতর্কতা (Precautions) :

পরীক্ষা (3.2)-তে যে সতর্কতাগুলি অবলম্বন করিতে বলা হইয়াছে, এক্ষেত্রেও ঐ একই সতর্কতা অবলম্বন করিতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের মধ্যে পার্থক্য কি?

উঃ কোন পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তনের ওজন ও সমআয়তন জলের (4°C) ওজনের অনুপাতকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে। ইহা একটি অনুপাত। সেজন্য ইহার কোন একক নাই। কিন্তু কোন পদার্থের একক আয়তনে যে পরিমাণ ভর থাকে, তাহাকে উহার ঘনত্ব বলে এবং ইহার একক থাকে।

প্রঃ জল 4°C উষ্ণতায় লওয়া হয় কেন?

উঃ উষ্ণতার হ্রাসবৃদ্ধির সঙ্গে একক আয়তনের জলের ওজনও হ্রাসবৃদ্ধি হয়। সেজন্য উষ্ণতা নির্দিষ্ট হওয়া প্রয়োজন। 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বাধিক (1 গ্রাম/সিসি)। সেজন্য 4°C উষ্ণতায় জলকে প্রামাণিক পদার্থ বলিয়া ধরা হয়।

প্রঃ কঠিন দ্রব্যটি দানাবিশিষ্ট হওয়া বাঞ্ছনীয়, না চূর্ণাকারে হওয়া ভাল?

উঃ দানাবিশিষ্ট হওয়া ভাল। একেবারে চূর্ণ হইলে, উহার সহিত অনেক বায়ু বুদবুদ আকারে থাকিয়া যায়। ফলে, জল বা তরলের প্রকৃত ওজন পাওয়া যায় না।

প্রঃ বোতলে ছিপি থাকা কি একান্ত প্রয়োজন?

উঃ ছিপিযুক্ত বোতল প্রয়োজন, কারণ ছিপি (ছিদ্রযুক্ত) মাধ্যমে অতিরিক্ত তরল বা জল বাহির হইয়া যায় এবং সর্বদা নির্দিষ্ট আয়তনের জল বা তরল পাওয়া যায়।

প্রঃ কোন সূত্রের ভিত্তিতে এই পদ্ধতিতে বোতলের সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হইয়েছে?

উঃ আর্কিমিডিস সূত্রের সাহায্যে এক্ষেত্রে মূলনীতি স্থির করা হইয়াছে।

প্রঃ পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে অভিকর্ষজ মান বিভিন্ন। ইহাতে কি বিভিন্ন স্থানে কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব ভিন্ন হইবে ?

উঃ না, যেহেতু আপেক্ষিক গুরুত্বের মান সংজ্ঞানুসারে দুইটি রাশির অনুপাত। সেজন্য স্থানভেদে পদার্থ ও জল উভয়েরই ওজন একইভাবে প্রভাবিত হইবে। ফলে, স্থানান্তর ঘটিলেও আপেক্ষিক গুরুত্বের মান পরিবর্তিত হইবে না।

প্রঃ কোন কৃত্রিম উপগ্রহে অবস্থিত কোন নভশ্চর আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কি কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পারিবে ?

উঃ কৃত্রিম উপগ্রহে বস্তু ভারশূন্য অবস্থায় থাকে। সেজন্য সেখানে বোতলের সাহায্যে কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের প্রশ্নই উঠে না এবং তাহা সম্ভব নয়।

3.4 বয়েল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা (Verification of Boyle's law)

মূলনীতি (Theory) :

বয়েলের সূত্র : নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (T) কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি V এবং চাপ যদি P হয়, তাহা হইলে আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতী হয়।

অর্থাৎ $V \propto \frac{I}{P}$ যখন T ধ্রুবক

সুতরাং, $P.V =$ ধ্রুবক

অতএব, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি পরিবর্তন করিয়া V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি করা হয় এবং যদি তাহার চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, $P_3 \cdots$ ইত্যাদি হয় (উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখিয়া), তাহা হইলে, $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \cdot$

অতএব, উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে, অর্থাৎ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় (isothermal process) নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল সর্বদা ধ্রুবক থাকিবে। এই অবস্থায় ঐ গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্কটি একটি লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করিলে, উহা একটি সমকৌণিক পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হইবে।

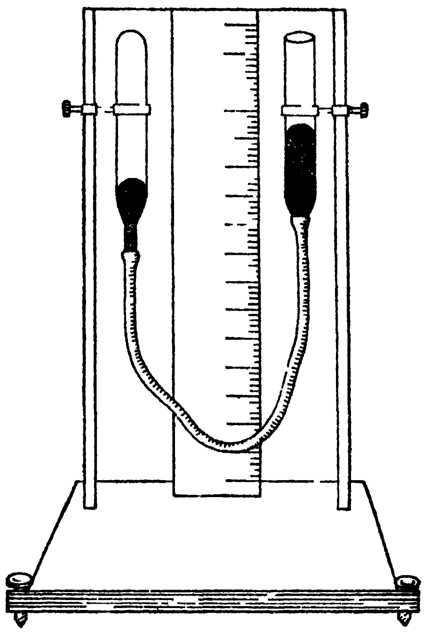
যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

বয়েলের যন্ত্র, ব্যারোমিটার, থার্মোমিটার।

বয়েলের যন্ত্র :

এই যন্ত্রের প্রধান অংশ দুইটি কাঁচের নল AB ও CD যাহা একটি মোটা রবারের নল (XYZ) দ্বারা যুক্ত (চিত্র 3.3)। CD নলের দুই মুখই খোলা কিন্তু AB নলের নীচের মুখ খোলা এবং উপরের মুখ বন্ধ। এই AB নলের ভিতর পরীক্ষণীয় গ্যাসটি থাকে। AB ও CD নলের নিম্নাংশ এবং রবারের নলটি পারদপূর্ণ করা থাকে। AB ও CD নলকে দুইটি ক্ল্যাম্প K_1, K_2 দ্বারা উঠানো-নামানো যায় এবং যে কোন উচ্চতায় স্থির রাখা যায়। দুইটি নল একটি কাঠের ফ্রেমের উপর

আটকানো থাকে এবং ঐ ফ্রেমের মধ্যস্থলে একটি স্কেল থাকে যাহার সাহায্যে AB বা CD নলদুটির অবস্থান ও উহার মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপা যায়।



3 3 : বয়েলের যন্ত্র

বদ্ধ নল AB-এর গাত্রে, বদ্ধ গ্যাসের আয়তনের পরিমাণ বুঝিবার জন্ত দাগ কাটা থাকে।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure):

(i) প্রথমে ব্যারোমিটার হইতে বায়ুমণ্ডলের চাপ ও থার্মোমিটার হইতে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতার পাঠ লওয়া হইল ;

(ii) যন্ত্রটিকে অনুভূমিক করিয়া, খোলা মুখ CD-কে আস্তে আস্তে এমন অবস্থায় আনা হইল যে, দুইটি নলেই যেন পারদস্তম্ভ একই তলে থাকে। এ অবস্থায়, বদ্ধ বায়ু বা গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত সমান (ব্যারোমিটার হইতে প্রাপ্ত)। বদ্ধ গ্যাসের আয়তন AB নলের গাত্রের দাগ হইতে পাঠ লওয়া হইল (চিত্র 3.4) ;

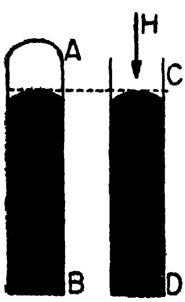
(iii) খোলা নলটিকে (CD) এইবার একটু উপর দিকে তোলা হইল, এর ফলে বদ্ধ বায়ুর বা গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পাইবে। এবং AB নলে পারদতল CD নলের পারদতল হইতে নীচে নামিয়া যাইবে। যদি উভয় নলের পারদতলের পার্থক্য

h সেমি হয় এবং বাতাসে বায়ুর চাপ H সেমি পারদ হয়, তাহা হইলে ঐ অবস্থায় বদ্ধ বায়ু বা গ্যাসের চাপ হইবে $(H+h)$ সেমি পারদ (চিত্র 3.5) ;

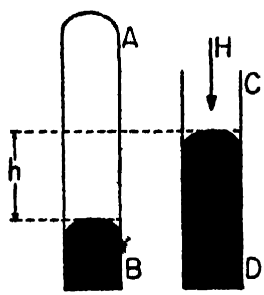
(iv) অনুরূপভাবে, CD নলকে নীচে নামাইলে, AB নলের পারদস্তম্ভ উপরে উঠিয়া যাইবে এবং বদ্ধ গ্যাসের চাপ বেশী হইবে। উভয় নলের পারদস্তম্ভের পার্থক্য h সেমি হইলে, বদ্ধ গ্যাসের চাপ ঐ অবস্থায় হইবে $(H-h)$) সেমি পারদ (চিত্র 3.6) ;

(v) এইভাবে, CD নলকে AB নলের উপর তুলিয়া তিনটি এবং নীচে নামাইয়া তিনটি বিভিন্ন অবস্থায় রাখিয়া পারদতলের পাঠ লওয়া এবং প্রতিবারেই AB গাত্রের দাগ হইতে, বদ্ধ গ্যাসের আয়তন লিপিবদ্ধ করা হইল।

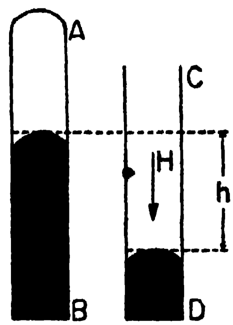
(vi) পরীক্ষার শেষে পুনরায় ব্যারোমিটারের পাঠ ও বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা থার্মোমিটার হইতে লওয়া হইল। পরীক্ষার প্রথমে গৃহীত পাঠ ও এই পাঠ হইতে গড় উষ্ণতা ও বায়ুমণ্ডলের চাপের মানের গড় (H) নির্ণয় করা হইল।



চিত্র : 3.4



চিত্র : 3.5



চিত্র : 3.6

ফল (Results) :

বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা (পরীক্ষার পূর্বে) = °C
" " (পরীক্ষার শেষে) = ···°C
" গড় উষ্ণতা = °C

বায়ুমণ্ডলের চাপ (পরীক্ষার পূর্বে) = ··· সেমি (পারদ)
" " (পরীক্ষার শেষে) = ··· সেমি. (পারদ)
" গড় চাপ (H) = ··· সেমি. (পারদ)

[এই চাপ ব্যারোমিটারের সাহায্যে লইতে হইবে এবং ঐ পাঠ 2·9 তে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে সারণীবদ্ধ করিতে হইবে।]

চাপ-আয়তন পাঠ তালিকা

বায়ুমণ্ডলের গড় চাপ $(H)=$ ···সেমি. (পারদ)

গ্যাসের চাপ	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বদ্ধ নলের উপরের পাঠ a (সেমি.)	পারদতলের পাঠ		পারদ-তলের উচ্চতার ব্যবধান $h=b\sim c$ (সেমি.)	গ্যাস স্তম্ভের দৈর্ঘ্য $l=a\sim b$ (সেমি.)	বদ্ধ গ্যাসের চাপ $P=H\pm h$ (সেমি.)	গ্যাস স্তম্ভের দৈর্ঘ্য × চাপ $(H\pm h)\times l$
			বদ্ধ নলের b (সেমি.	খোলা নলের c (সেমি.)				
বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী	1 2 3							
বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান								
বায়ুমণ্ডলের চাপের কম	1 2 3							

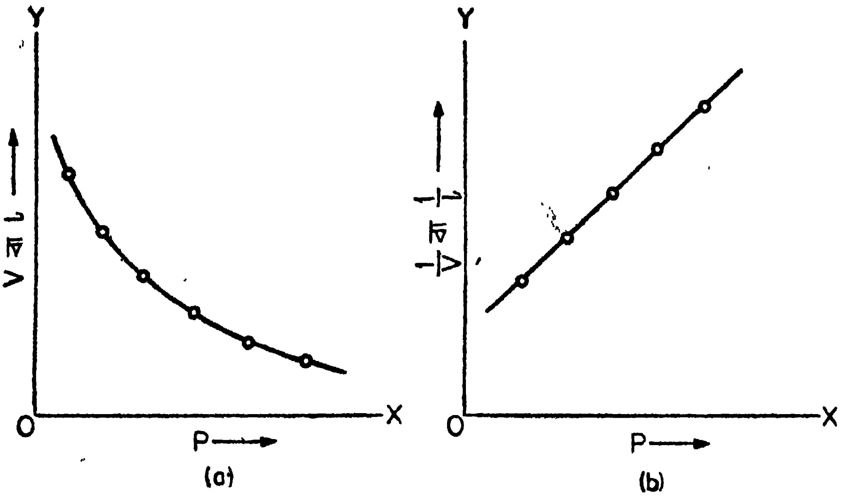
দ্রষ্টব্য : অনেক সময়ে বদ্ধ নলে (AB) সরাসরি গ্যাসের আয়তন বুঝিবার জন্ত দাগ কাটা থাকে না। সেক্ষেত্রে বদ্ধ নলে গ্যাসের দৈর্ঘ্য b হইলে, উহার আয়তন $V=l\rho$ যখন ρ উহার প্রস্থচ্ছেদ। যেহেতু প্রস্থচ্ছেদ ধ্রুবক, সেজন্ত আয়তনের পরিবর্তে $P\times l$ বা $(H+h)\times l$ গুণফল নির্ণয় করিয়া সূত্রটি প্রমাণ করা যায়। অন্তথায় সারণীতে l এর পরিবর্তে V লিপিবদ্ধ করিয়া $P\times V$ নির্ণয় করিতে হইবে।

লেখচিত্র অঙ্কন : গ্রাফ কাগজে X-অক্ষ বরাবর চাপ (P) ও Y-অক্ষ বরাবর বদ্ধ গ্যাসের আয়তন (V) বা দৈর্ঘ্য (l) সংস্থাপন করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, চিত্র-3.7 অনুযায়ী লেখচিত্র (সমকৌণিক পরাবৃত্ত) পাওয়া যাইবে। V বা l এর পরিবর্তে $1/V$ বা $1/l$ কে Y-অক্ষ বরাবর সংস্থাপনা করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, একটি সরলরেখা পাওয়া যাইবে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) গ্যাসের আয়তন পরিবর্তন করিবার সময়ে খুব দ্রুত নলটিকে উঠানো নামানো উচিত নয়। সেক্ষেত্রে দ্রুত সংকোচন বা প্রসারণের ফলে, বদ্ধ গ্যাসের তাপমাত্রা

পরিবর্তিত হইয়া যায় এবং সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার সর্ত পূরণ হয় না। সেজন্ত প্রতিবার বদ্ধ নলটি উঠানো-নামানোর পর কয়েক মিনিট অপেক্ষা করিয়া পাঠ লওয়া প্রয়োজন।



চিত্র : 3.7 : $(P-V)$ ও $(P-1/V)$ লেখচিত্র

(ii) পারদতলের পাঠ লইবার সময়ে যাহাতে লম্বন-ত্রুটি (parallax error) না ঘটে, সেইদিকে বিশেষ দৃষ্টি রাখা প্রয়োজন।

(iii) বদ্ধ গ্যাস বা বাতাস জলীয়বাষ্পহীন শুষ্ক এবং পারদ বিশুদ্ধ হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রশ্নোত্তর

প্র: বয়েলের সূত্র কি ?

উ: মূলনীতি দ্রষ্টব্য।

প্র: বয়েলের সূত্র কি সকল চাপে ও সকল উষ্ণতায় প্রযোজ্য ?

উ: না, খুব নিম্ন উষ্ণতায় ও খুব উচ্চচাপে এই সূত্র প্রযোজ্য নয়।

প্র: সমোষ্ণ প্রক্রিয়া না হইলে চাপ-আয়তন সম্পর্ক কিরূপ হইবে ?

উ: সেক্ষেত্রে সূত্রটি হইবে PV^{γ} যখন $\gamma = \frac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষি তাপ}}$। এই সূত্রকে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার (adiabatic process) সূত্র বলে।

প্র: বয়েলের সূত্রটি কি শুধু বায়ুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য ?

উ: না, সকল বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রেই সাধারণতঃ ইহা প্রযোজ্য। তবে কেবল আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রেই ইহা সর্বতোভাবে প্রযোজ্য বলিয়া মনে করা হয়।

প্র: বায়ুতে জলীয় বাষ্প থাকিলে ক্ষতি আছে কি ?

উ: জলীয় বাষ্প সঠিকভাবে বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে না। সেজন্ত বায়ু শুষ্ক হওয়া প্রয়োজন।

প্র: PV গুণফলের মান কিসের উপর নির্ভর করে ?

উ: গৃহীত গ্যাসের ভর এবং আবহাওয়ার উষ্ণতার উপর।

প্রঃ ব্যারোমিটার না থাকিলে কি এই পরীক্ষা করা সম্ভব ?

উঃ হাঁ, সেক্ষেত্রে চাপের ব্যবধান (h) এবং $\left(\frac{1}{V}\right)$ বা ($1/l$) এর মধ্যে লেখচিত্র আঁকিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় (চিত্র 3 7), সেই সরলরেখা X-অক্ষের ঋণাত্মক দিকে যে ছেদক উৎপন্ন করিবে, তাহার মানই আলোচ্য সময়ে বায়ুমণ্ডলের চাপ।

প্রঃ ফুটবল পাম্প করিবার সময়ে, চাপ ও আয়তন উভয়েই বৃদ্ধি হয় কেন ?

উঃ এক্ষেত্রে সূত্রটি প্রযোজ্য নয়, কারণ পাম্প করিবার সময়ে বায়ুর পরিমাণ স্থির থাকে না, ক্রমশই বৃদ্ধি পাইতে থাকে।

3.5 ভার্ণিয়ারের সাহায্যে একটি ধাতব তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় এবং হুকের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ (Determination of Young's Modulus of a metallic wire with the help of a vernier apparatus and hence to verify Hooke's Law)

মূলনীতি (Theory).

হুকের সূত্র—স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত পীড়ন তাহার বিকৃতির সমানুপাতিক।

$$\text{অর্থাৎ,}\quad \frac{\text{পীড়ন (stress)}}{\text{বিকৃতি (strain)}} = \text{ধ্রুবক}$$

এই ধ্রুবককে বলা হয় স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (modulus of elasticity)। এখন কোন বস্তুতে যদি পীড়ন প্রয়োগে তাহার অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি (longitudinal strain) ঘটে, তাহা হইলে ঐ গুণাঙ্ককে তখন 'ইয়ং-গুণাঙ্ক' (Young's modulus) বলে। অর্থাৎ

$$\text{ইয়ং গুণাঙ্ক } (Y) = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

মনে করা যাক, কোন একটি ধাতব তারের দৈর্ঘ্য L সেমি. এবং উহার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল (cross-sectional area) A বর্গসেমি। তারটির এক প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে বাঁধিয়া যদি উহার মুক্ত প্রান্তে M গ্রাম ভারবিশিষ্ট বাটখারা চাপান হয়, এবং তাহাতে যদি তারটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায় l সেমি. তাহা হইলে স্থিতিস্থাপকতার সীমার মধ্যে থাকিলে, তারটির

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন} = \frac{Mg}{A} = \frac{Mg}{\pi d^2/4} \quad (d - \text{তারের ব্যাস})$$

$$\text{এবং অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = l/L$$

$$\text{সুতরাং, ইয়ং গুণাঙ্ক } (Y) = \frac{Mg/\pi\frac{d^2}{4}}{l/L} = \frac{4MgL}{\pi d^2 l} \text{ ডাইন/বর্গসেমি.} \cdots (3\cdot5\,a)$$

অতএব, প্রযুক্ত ভর M-এর সহিত দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l এর একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, উহা একটি সরলরেখা হইবে যাহা মূলবিন্দু (origin) দিয়া অতিক্রম করিবে

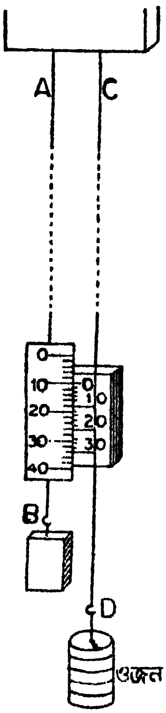
(কারণ Y ধ্রুবক কোন ধাতুর জন্য)। এই সংলরেখার নতি (gradient) হইতে, Y-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

যন্ত্রাদি (Apparatus):

ভার্নিয়ার স্কেলযুক্ত পরীক্ষাধীন তারসহ যন্ত্র; প্রামাণিক ওজনের বাটখারা স্ক্রুগেজ, মিটার স্কেল ইত্যাদি।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure):

(i) ভার্ণিয়ার যন্ত্রে যে দুইটি সমান দৈর্ঘ্যের তার আছে (AB ও CD) তাহারা ছাদের নিম্নতল (ceiling) হইতে ঝুলানো রহিয়াছে। ইহাদের একটি সহায়ক তার (reference wire) ও অপরটি পরীক্ষাধীন তার (experimental wire)। উভয় তারেরই নিম্নপ্রান্তে একটি করিয়া বাটখারা চাপাইয়া তার দুইটিকে টান করা হইল (চিত্র 3.8)। পরীক্ষাধীন তারে (CD) একটি ভার্ণিয়ার স্কেল লাগানো রহিয়াছে এবং সহায়ক তারে (AB) একটি মূল স্কেল আছে।



চিত্র 3.8 : ভার্নিয়ার যন্ত্র

(ii) একটি স্ক্রু গেজের সাহায্যে পরীক্ষাধীন তারের ব্যাস মাপা হইল। এই পরিমাপ তারটির অন্ততঃ বিভিন্ন পাঁচটি স্থানে এবং প্রতিস্থানে পরস্পর সমকোণে লইতে হইবে। এই পাঠের গড় নির্ণয় করিলে তারটির প্রস্থচ্ছেদের ব্যাস (d) পাওয়া যাইবে।

(iii) তারের উপাদানের অসহ পীড়নকে (breaking stress) এই প্রস্থচ্ছেদ দ্বারা গুণ করিলে, উহার অসহ ভার (breaking load) পাওয়া যাইবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে, এই অসহ ভারের অর্ধেক ভার পর্যন্ত তারের প্রান্তে প্রয়োগ করিলেও, তারটি তাহার স্থিতিস্থাপকতার সীমা (elastic limit) অতিক্রম করে না।

(iv) প্রাথমিক ভার চাপানো অবস্থায় ভার্ণিয়ার ও মূল স্কেলের পাঠ লইতে হইবে, ইহাই প্রাথমিক পাঠ।

(v) এইবার পরীক্ষাধীন তারের প্রান্তে 1/2 কিলোগ্রাম করিয়া ওজন চাপাইয়া যাইতে হইবে এবং প্রতিবার মূলস্কেল ও ভার্ণিয়ারের পাঠ লইতে হইবে। এই পাঠ হইতে মূল পাঠ বিয়োগ করিলে, প্রতিটি ভারের জন্য পরীক্ষাধীন তারটির কতখানি দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়, তাহা নির্ণীত হইবে।

(vi) বেশ কয়েকটি পাঠ এইভাবে লইয়া, বাট্‌খারাগুলি ঠিক একই ধাপে এবার নামাইতে হইবে এবং দৈর্ঘ্য সংকোচন ঘটিবে। পুনরায় প্রতিক্ষেত্রে মূলস্কেল ও ভার্ণিয়ারের পাঠ লইতে হইবে। অতএব, প্রতিটি ভারের জন্য দুইটি করিয়া পাঠ পাওয়া যাইবে—একটি ওজন বৃদ্ধির সময়ে, অপরটি ওজন হ্রাস করিবার সময়ে। এই

দুই পাঠের গড় লইতে হইবে। ঐ গড় পাঠই সংশ্লিষ্ট ভারের জন্য তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণ।

(vii) একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে পরীক্ষাধীন তারটির মোট দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে।

(viii) লেখচিত্রে প্রযুক্ত ভারকে (M) X-অক্ষ বরাবর ও দৈর্ঘ্য প্রসারণকে (l) Y-অক্ষ বরাবর স্থাপনা করিয়া লেখচিত্রটি অঙ্কন করিতে হইবে। ইহা একটি মূল-বিন্দুগামী সরলরেখা হইবে। এই লেখচিত্রের যে কোন বিন্দু লইয়া, তাহার ভুজ ও কোটি হইতে যথাক্রমে প্রযুক্ত ভার ও আনুষঙ্গিক দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরিমাণ পাওয়া যাইবে। এই উপাত্ত (data) ব্যবহার করিয়া (3·5a) হইতে ইয়ং-গুণাঙ্কের মান নির্ণয় করা যাইবে।

ফল (Results) :

সারণী—1
তারের ব্যাস নির্ণয়

স্ক্রু গেজের রৈখিক স্কেলের সর্বনিম্ন পাঠ = ··· মিমি.

স্ক্রু গেজের পিচ (p) = ··· মিমি.

বৃত্তাকার স্কেলের মোটসংখ্যা (N) = ···

লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $(l.c.) = \frac{p}{N}$ = ··· মিমি. = ··· সেমি.

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেল পাঠ (A) (সেমি)	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ (B)	বৃত্তাকার স্কেলের মান $(B \times l.c)$ $= C$ (সেমি)	মোট পাঠ $(A+C)$ (সেমি)	গড় ব্যাস (d) (সেমি)	যান্ত্রিক ত্রুটি (e) (সেমি)	সংশোধিত ব্যাস $(d-e)$ (সেমি)	ব্যাসার্ধ (r) (সেমি)
1 (a)	...	...	...	...				
(b)	...	...	...	...				
2 (a)	...	...	...	...	...	..	...	...
(b)	...	...	...	...				
3 (a)	...	..	...	...				
(b)	...	...	...	...				

সারণী—2
পরীক্ষাধীন তারের দৈর্ঘ্য (L) নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	তারের দৈর্ঘ্য (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য (L) (সেমি)
1	.	..
2	..	..
3	...	..

তারের অসহ ভার নির্ণয় :

উপাদানের অসহ পীড়ন = ·· কি.গ্রাম/বর্গসেমি

∴ অসহ ভার = অসহ পীড়ন × প্রস্থচ্ছেদ

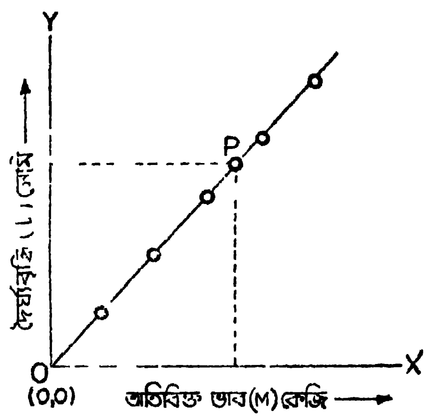
= অসহপীড়ন × πr^2 = ···কি.গ্রাম

∴ ব্যবহৃত ভারের নিরাপত্তা সীমা (safety limit)

= $\frac{1}{2}$ × অসহভার = ···কি.গ্রাম

লেখচিত্র অঙ্কন (Drawing of Graphs) :

X-অক্ষরেখা বরাবর (M) ও Y-অক্ষরেখা বরাবর দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি (l) স্থাপন করিয়া লেখচিত্র আঁকিতে হইবে। লেখচিত্রটি একটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হইবে



চিত্র 3.9 · ($M-l$) লেখচিত্র

(চিত্র 3.9)। এই লেখচিত্রের উপর যে কোন একটি বিন্দু লইয়া (P), উহার ভুজ ও কোটির মান (3·5a) সমীকরণে বসাইলে, Y-এর মান পাওয়া যাইবে।

সারণী—3
তারের ভার বনাম দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি

ভার্নিয়ার যন্ত্রের ভার্নিয়ার ধ্রুবক ($v\ c.$)= ·সেমি.

প্রাথমিক ভার (dead load)= ···কি.গ্রাম

পর্যবেক্ষণ-সংখ্যা	তারের নিম্নপ্রান্তে ঝোলানো ভার (M) (কিঃ গ্রাম) (অতিরিক্ত)	ভার বাড়ার সময় পাঠ			ভার কমার সময় পাঠ			গড় পাঠ $\frac{a+b}{2}$ (সেমি)	মোট দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি (l) (সেমি)
		মূল স্কেল (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেল (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি) (a)	মূল স্কেল (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেল (সেমি.)	মোট পাঠ (সেমি) (b)		
1	0	..	...		...	..	..	···(x_1)	0
2	$\frac{1}{2}$	...	...	...	—	.	..	···(x_2)	$l_1 = x_2 - x_1$
3	1·0							···(x_3)	$l_2 = (x_3 - x_1)$
4	$1\frac{1}{2}$								
5	2·0								
6	$2\frac{1}{2}$								
7	3·0								
8	$3\frac{1}{2}$	...	...	...	...	...	...	..(x_7)	$l_7 = x_8 - x_1$

হুকের সূত্রের সত্যতা নিরূপণ

যেহেতু লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা এবং ইহা মূলবিন্দুগামী, সেজন্য পীড়ন ও বিকৃতি সমানুপাতিক এবং যখন তারে কোন ভার বা পীড়ন থাকে না, তখন উহার বিকৃতিও শূন্য। সুতরাং হুকের সূত্রের সত্যতা এই লেখচিত্র হইতেই প্রমাণিত হয়।

সতর্কতা (Precautions):

(i) প্রাথমিক ভর ঠিকমত দিয়া তারগুলিকে টান করিয়া রাখিতে হইবে।

(ii) ভারসীমার মধ্যেই ভার ব্যবহার করিতে হইবে।

(iii) উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন সংশোধন করিবার জন্য পরীক্ষাধীন তারের পাশে আর একটি তার লওয়া হয় যাহার উপাদান এক।

(iv) ভার চাপানো-নামানোর সময় পাঠ লওয়ার পূর্বে কিছু সময় দেওয়া উচিত।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ হুকের সূত্র কি এবং ইয়ং-গুণাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উঃ [মূলনীতি দ্রষ্টব্য]

প্রঃ ইয়ং-গুণাঙ্ক কি তারের দৈর্ঘ্য বা ব্যাসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ না, উহা তারের উপাদানের উপর নির্ভর করে।

প্রঃ পরীক্ষাধীন তার ও সহায়ক তার কি একই উপাদানের হওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ হ্যাঁ, পরীক্ষাকালে উষ্ণতার পরিবর্তন ঘটিলে, উভয়েই একইভাবে প্রভাবিত হয়। সেজন্য দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাপে কোন ভুল হয় না।

প্রঃ স্থিতিস্থাপকতা কি উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল ?

উঃ হ্যাঁ, উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে সাধারণতঃ পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা হ্রাস পায়, কিন্তু রবারের ক্ষেত্রে উহা উষ্ণতার সহিত বৃদ্ধি পায়।

প্রঃ স্থিতিস্থাপক সীমা কাহাকে বলে ?

উঃ যে সীমা পর্যন্ত বাহ্যিক বলপ্রয়োগে পদার্থ স্থিতিস্থাপক ধর্ম পালন করে।

প্রঃ ইয়ং-গুণাঙ্ক ব্যতীত পদার্থের কি অন্য কোন গুণাঙ্ক আছে ? যদি থাকে, তাহা হইলে ইয়ং-গুণাঙ্কের সহিত তাহাদের কি সম্পর্ক ?

উঃ পদার্থের অন্য গুণকগুলি আয়তন গুণাঙ্ক (k) ও কৃন্তন বা দৃঢ়তা গুণাঙ্ক n)। ইহা ব্যতীত আর একটি ধর্মও পদার্থের আছে। তাহাকে বলে পয়সন্ অনুপাত (σ)। ইয়ং-গুণাঙ্কের সহিত ইহাদের সম্পর্ক

$$Y=3k\ 1-2\sigma)=2n\ 1+\sigma)$$

প্রঃ এই পরীক্ষায় কোন পরিমাপটি সর্বাপেক্ষা সূক্ষ্মতার সহিত করা উচিত ?

উঃ তারের ব্যাসার্ধ, যেহেতু সূত্রে ব্যাসার্ধের বর্গ রহিয়াছে।

প্রঃ প্রাথমিক ভর দেওয়ার প্রয়োজনীয়তা কি ?

উঃ যাহাতে তারের মধ্যে কোন ভাঁজ না থাকে।

প্রঃ তারের ব্যাস একই জায়গায় লম্বভাবে দুধারে মাপা হয় কেন ?

উঃ কোন কোন জায়গায় তারটি গোল প্রস্থচ্ছেদযুক্ত নাও হইতে পারে।

প্রঃ এমন কোন বস্তু আছে কি যাহার স্থিতিস্থাপকতা উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল নয় ?

উঃ হাঁ, 'এলিনভার' (elinvar) নামে একপ্রকার পদার্থ (নিকেল, ইস্পাত ও ক্রোমিয়ামের সংমিশ্রণ) আছে যাহার স্থিতিস্থাপকতা উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল নয়। ঘড়ির স্প্রিং-এ এই ধাতু ব্যবহৃত হয়।

প্র: এই পদ্ধতিতে লম্বা তার লওয়ার কি প্রয়োজন ?

উ: তারের দৈর্ঘ্য বেশী হইলে, দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরিমাণও বেশী হইবে।

প্র: ওজন নামানোর সময়ে পুনরায় পাঠ লওয়ার প্রয়োজন ও সার্থকতা কি ?

উ: ওজন নামানোর সময়ে পুনরায় পাঠ লইলে যদি দেখা যায় যে, ওজন চাপানোর সময়ের মত একইরকম পাঠ পাওয়া যায়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে তারটি স্থিতিস্থাপকতার সীমা অতিক্রম করে নাই এবং তারটিতে কোন প্রাথমিক ভাঁজ ছিল না।

প্র: এই পরীক্ষাটি যদি চন্দ্রপৃষ্ঠে সম্পন্ন করা যায়, তাহা হইলে একটি নির্দিষ্ট ভর প্রয়োগে, কোন বিষয়ে পার্থক্য লক্ষ্য করা যাইবে ?

উ: যেহেতু চন্দ্রপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ মান পৃথিবীপৃষ্ঠের মানের এক-ষষ্ঠাংশ, সেহেতু একই নির্দিষ্ট ভর প্রয়োগ করিলে, তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পৃথিবীতে যাহা হইবে, তাহার এক-ষষ্ঠাংশ হইবে।

3.6 সার্লের যন্ত্রের সাহায্যে (মাইক্রোমিটার পদ্ধতি) কোন তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Young's modulus of a wire by Searle's method using a micrometer)

মূলনীতি (Theory).

L সেমি দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন লম্বা তারের ব্যাস যদি d হয় এবং উহার প্রান্তে M গ্রাম ভর ঝুলাইলে যদি উহার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l সেমি হয়, তাহা হইলে উহার

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন} = \frac{Mg}{\pi d^2/4}$$

এবং অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= l/L$

$$\text{সুতরাং, প্রদত্ত তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক } (Y) = \frac{Mg/\pi d^2/4}{l/L} = \frac{4MgL}{\pi d^2 l}$$

$$= \frac{4Lg}{\pi d^2}\left(\frac{M}{l}\right) \quad \cdots \quad (3.6a)$$

অতএব, প্রযুক্ত ভর (M)-এর সহিত দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি (l)-এর একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, উহা একটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হইবে, যাহা হইতে যে কোন একটি বিন্দু লইয়া উপরোক্ত সূত্র হইতে Y এর মান নির্ণয় করা যায়।

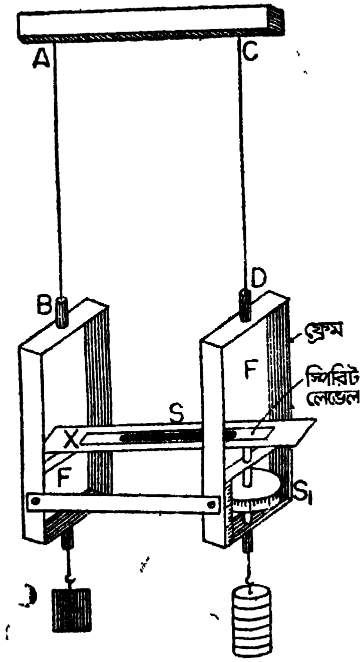
যন্ত্রাবলী (Apparatus):

সার্লের মাইক্রোমিটার যন্ত্র, প্রামাণিক ওজনের বাটখারা, স্ক্রু গেজ, মিটার স্কেল ইত্যাদি।

সার্লের মাইক্রোমিটার যন্ত্র :

এই যন্ত্রে ভার্নিয়ার যন্ত্রের ন্যায় দুইটি তার ঘরের ছাদের নিম্নপ্রান্ত হইতে ঝুলানো থাকে। তার দুইটি যথারীতি একই উপাদানের তৈয়ারী হয়। তার দুইটির নিম্নপ্রান্তে দুইটি ফ্রেম (F) থাকে যেগুলি স্বাধীনভাবে উল্লম্বতলে উঠানামা করিতে পারে (চিত্র 3.10)। ফ্রেমটির মধ্যে একটি সূক্ষ্ম স্পিরিট লেভেল (S) আছে

যাহার এক প্রান্ত, ফ্রেমের একদিকে একটি পাতের উপর স্থির অবস্থায় আটকানো থাকে (X) এবং অপর প্রান্ত, একটি সূক্ষ্ম মাইক্রোমিটার স্ক্রু-এর উপর (S_1) রাখা থাকে। স্ক্রুটি ঘুরাইলে স্পিরিট লেভেলটি অনুভূমিক তল হইতে উঠানামা করিতে পারে। ফ্রেমের এক প্রান্তে (AB তারের নীচে) একটি নির্দিষ্ট ভারী ওজন চাপানো থাকে। অপর প্রান্তটির নীচে (CD তারের নীচে) একটি হুকে, পরিবর্তনশীল



চিত্র 3.10 : সার্লের যন্ত্র

ওজন চাপানো যায়। ব্যবহারকালে, প্রথমে মাইক্রোমিটার স্ক্রুটিকে ঘুরাইয়া স্পিরিট লেভেলের মধ্যকার বায়ু বুদ্‌বুদ্‌কে কেন্দ্রস্থলে আনা হয়। CD তারপ্রান্তে কোন ওজন চাপাইলে, এই সাম্য অবস্থা বিঘ্নিত হয় এবং তখন মাইক্রোমিটার স্ক্রুটিকে ঘুরাইয়া পুনরায় বায়ু বুদ্‌বুদ্‌কে কেন্দ্রে আনা হয়। মাইক্রোমিটার স্ক্রুটিকে যে পরিমাণ ঘুরাইলে, এই সাম্য অবস্থা আসে, সেই পরিমাণই হইল তারটির দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি, ওজন চাপানোর ফলে।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure) :

(i) ভার্নিয়ার পদ্ধতির ন্যায় এক্ষেত্রেও পরীক্ষাধীন তারটির ব্যাস (d) বিভিন্ন স্থানে নির্ণয় করা হইল।

(ii) পূর্বের ন্যায়, তারটির অসহভার (breaking load) নির্ণয় করিয়া লওয়া হইল।

(iii) পরীক্ষাধীন তারটির দৈর্ঘ্য এ কটি মিটার স্কেলের সাহায্যে মাপা হইল।

(iv) পরীক্ষাধীন তারটির (*CD*) নিম্নপ্রান্তে সামান্য ভার রাখিয়া (স্থিরভার) তারটিতে যেন কোন ভাঁজ না থাকে, সে সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়া প্রয়োজন।

(v) এই অবস্থায় স্পিরিট লেভেলটির বায়ু বুদ্‌বুদ্‌কে কেন্দ্রে আনা হইল মাইক্রোমিটার স্ক্রু ঘুরাইয়া এবং স্ক্রু-এর পাঠ লওয়া হইল। উহাই প্রাথমিক পাঠ।

(vi) এরপর, ধাপে ধাপে $\frac{1}{2}$ কিগ্রাম ওজন পর্যায়ক্রমে ঐ তারের (*CD*) প্রান্তে চাপানো হইল এবং প্রতিবার মাইক্রোমিটার স্ক্রু ঘুরাইয়া স্পিরিট লেভেলের সাম্য অবস্থা আনা হইল। প্রতিবারে মাইক্রো মিটার স্ক্রু-এর পাঠ লওয়া হইল।

(vii) প্রতিবারের পাঠ হইতে মূলপাঠ বিয়োগ করিলে, প্রতিটি ভারের জন্য পরীক্ষাধীন তারটির কতটা দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হয়, তাহা পাওয়া যাইবে।

(viii) পূর্বের ন্যায়, ওজন পর্যায়ক্রমে চাপাইয়া এবং পুনরায় নামাইয়া—দুইবার পাঠ লওয়া হইল এবং প্রতিক্ষেত্রে গড় পাঠ হইতে নির্দিষ্ট ভরের জন্য তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাপ নির্ণয় করা হইল।

(ix) সবশেষে, ভর (*M*) ও দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি (*l*)-কে লেখচিত্রে দুই অক্ষ বরাবর নির্দেশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। ইহা মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা হইবে।

ফল (Results) :

তারের ব্যাস (*d*) নির্ণয়

সারণী—1

[ভার্ণিয়ার পদ্ধতিতে (3.5) **সারণী—1** এর অনুরূপ তালিকা হইবে]

পরীক্ষাধীন তারের দৈর্ঘ্য (L) নির্ণয়

সারণী—2

[ভার্ণিয়ার পদ্ধতিতে (3.5) **সারণী—2** এর অনুরূপ তালিকা হইবে]

তারের অসহভার নির্ণয়

উপাদানের অসহ পীড়ন = ·· কি.গ্রাম/বর্গসেমি

অসহভার = অসহ পীড়ন × প্রস্থচ্ছেদ

= অসহ পীড়ন × $\pi d^2/4$ = ··· কি.গ্রাম

∴ ব্যবহৃত তারের নিরাপত্তা সীমা = $\frac{1}{2}$ × অসহভার = ··· কি.গ্রাম

সারণী—3

ভার বনাম দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি পরিমাপ

প্রাথমিক স্থির ভার = ··· কি.গ্রাম

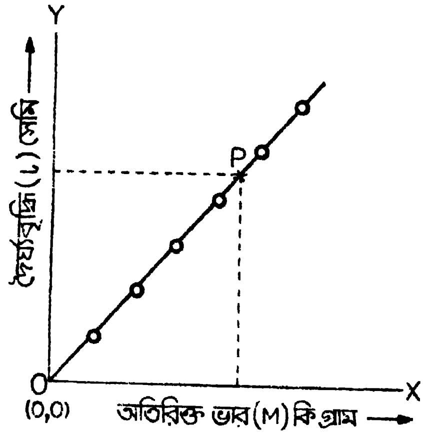
মাইক্রোমিটার স্ক্রু-এর লঘিষ্ঠ মাপ = ··· মিমি.

(2.6-এ প্রদত্ত পদ্ধতি অনুযায়ী)

	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	1	2	3	4	5	6	7	8
	তারের নীচে ঝোলানো অতিরিক্ত ভার (M) কিগ্রাম	0	0·5	1	1·5	2·0	2·5	3·0	3.5
ভার বৃদ্ধিকালে মাইক্রোমিটার স্কেলের পাঠ	প্রারম্ভিক পাঠ (a)								
	পূর্ণ ঘূর্ণন সংখ্যা (m)								
	প্রান্তিক পাঠ (b)								
	পূর্ণ ঘূর্ণনের মান $p=(m\times$ পিচ) মিমি								
	বৃত্তীয় স্কেলের পাঠের ব্যবধান $(b\sim a)$								
	ব্যবধানের মান $q=(b\sim a)\times l.c.$ মিমি								
	মোট পাঠ (মিমি) $(p+q)=r_1$								
ভার হ্রাসকালে মাইক্রোমিটার স্কেলের পাঠ	প্রারম্ভিক পাঠ (a)								
	পূর্ণ ঘূর্ণন সংখ্যা (m)								
	প্রান্তিক পাঠ (b)								
	পূর্ণ ঘূর্ণনের মান $p=(m\times$ পিচ) মিমি								
	বৃত্তীয় স্কেলের পাঠের ব্যবধান $(b\sim a)$								
	ব্যবধানের মান $q=(b\sim a)\times l.c.$ মিমি								
	মোট পাঠ $(p+q)$ $=r_2$ মিমি								
	প্রতিটি ভারের জন্য গড় $\left(\frac{r_1+r_2}{2}\right)$ মিমি দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি								
	মোট দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি l মিমি	l_1	l_2	l_3	...				
	মোট দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি l সেমি	0	l_2-l_1	l_3-l_1	...	...			

লেখচিত্র অঙ্কন :

X-অক্ষ বরাবর ভার (M) কিলোগ্রামে এবং Y-অক্ষ বরাবর দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি (l) সেমি.-এ প্রকাশ করিয়া মূলবিন্দুকে (0,0) ধরিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, উহা মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা হইবে (চিত্র 3.11)। এই লেখচিত্রের উপর যে কোন



চিত্র 3.11 : ($M-l$) লেখচিত্র

একটি বিন্দু লইয়া (P)-উহার ভুজ ও কোটির মান (3·6a) সমীকরণে বসাইলে, Y-এর মান পাওয়া যাইবে। যেহেতু লেখচিত্রটি মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা, সুতরাং হুকের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) মাইক্রোমিটার স্ক্রুকে সর্বদা একইদিকে ঘুরানো প্রয়োজন নচেৎ পিছট ভুল (back-lash-error) হইতে পারে।

(ii) ওজন চাপানো-নামানোর পর কিছু সময় দিয়া পাঠ লওয়া প্রয়োজন।

(iii) প্রাথমিক ভর ঠিকমত দিয়া তারদ্বয়কে ভাঁজমুক্ত করা প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

পূর্ব বর্ণিত ভার্ণিয়ার পদ্ধতিতে ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয়কালে (3·5) যে সকল প্রশ্নাবলী আলোচিত হইয়াছে, সেগুলি এক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। দুই একটি অতিরিক্ত প্রশ্নোত্তর (এই পদ্ধতি সংক্রান্ত) দেওয়া হইল।

প্র: মাইক্রোমিটার স্ক্রু যে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সঠিক পরিমাপ দেয়, সে সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়ার জন্য কি সর্ত পূরণ হওয়া প্রয়োজন ?

উ: মাইক্রোমিটার স্ক্রু-এর অক্ষ (axis) পরীক্ষাধীন তারের অক্ষের সহিত একই সরলরেখায় থাকা অবশ্যই উচিত, নচেৎ হয় বেশী না হয় কম দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পরিমিত হইবে।

3.7 নমনপ্রক্রিয়ার সাহায্যে একটি লম্ব দণ্ডের উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Young's Modulus of a beam by bending) :

মূলনীতি (Theory) :

একটি লম্ব ধাতবদণ্ড যদি দুইপ্রান্তে দুইটি ছুরিফলকের উপর প্রতিসমভাবে (symmetrically) একটি অনুভূমিকতলে থাকে এবং উহার দৈর্ঘ্য যদি L সেমি হয় এবং প্রস্থ ও বেধ যদি যথাক্রমে b সেমি ও d সেমি হয়, তাহা হইলে উহার মধ্যবিন্দুতে M গ্রাম ভার চাপাইলে, ঐ মধ্যবিন্দু l সেমি. পরিমাণ নীচে নামিয়া যাইবে (অনুভূমিক তল হইতে)। যদি দণ্ডের উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্কের মান Y হয়, তাহা হইলে

$$Y=\frac{MgL^3}{4bd^3l}=K\left(\frac{M}{l}\right) \quad \cdots \quad (3.7a)$$

এখানে $K=\frac{gL^3}{4bd^3}$, যাহা প্রদত্ত দণ্ডের ক্ষেত্রে ধ্রুবক

পরীক্ষাধীন দণ্ডের L, b, d মাপিলে, K-এর মান পাওয়া যায় এবং নির্দিষ্ট ভার (M) প্রয়োগে কতখানি মধ্যবিন্দুর অবনমন হয় (l), তাহা মাপিলে, সমীকরণ (3.7a) হইতে Y-এর মান নির্ণয় করা যায়।

ভার (M) এবং অবনমন (l) কে লেখচিত্রের দুই অক্ষ-বরাবর সংস্থাপিত করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, উহা একটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হইবে। ঐ সরলরেখা হইতেও Y-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

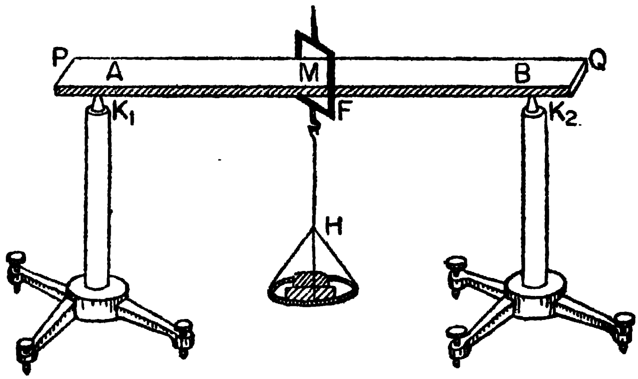
আয়তক্ষেত্রিক পরীক্ষাধীন দণ্ড; দুইটি প্রান্তভাগ ছুরিফলক বিশিষ্ট ভারী লৌহথাম (লেভিলিং স্ক্রু সহ); সরু কাঁটাযুক্ত একটি ফ্রেম; একটি হুক্ যাহাতে ওজন চাপান যায়; একটি ট্রাভেলিং (সঞ্চরণশীল) মাইক্রোস্কোপ।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure) :

(i) ভারী লৌহথাম দুটি দুইপ্রান্তে রাখিয়া পরীক্ষাধীন দণ্ডটিকে উহার উপর চাপাইতে হয় (চিত্র 3.12)। লৌহথামের উপরিভাগে যে সূক্ষ্ম ছুরিফলকদ্বয় আছে (K_1, K_2), তাহার উপর দণ্ডটিকে (PQ) এমনভাবে রাখিতে হইবে যে, যেন ছুরিফলক দুইটি দণ্ডের মধ্যবিন্দু (M) হইতে সমদূরে থাকে এবং ফলকের বাহিরে প্রক্ষিপ্ত দণ্ডের অংশদুইটি দুইপাশে সমানভাবে থাকে।

(ii) এক্ষণে ছুরিফলকের মধ্যবর্তী দণ্ডের অংশটুকুই (AB) পরীক্ষাধীন দণ্ডের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (L)।

(iii) সরু কাঁটাযুক্ত ফ্রেমটিকে (F) এবার দণ্ডের ঠিক মধ্যবিন্দুতে স্থাপন করা হইল এবং হুকটি (H) ঐ ফ্রেম হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল।



চিত্র 3.12 : নমনপ্রক্রিয়ার যন্ত্র

(iv) দণ্ডটির মধ্যবিন্দু হইতে দুইপাশে সমদূরবর্তী অংশের (ছুরিফলকের উপর রাখা) দূরত্ব একটি স্কেলের সাহায্যে মাপা হইল। (সাধারণতঃ প্রান্তিক দূরত্ব 80 বা 90 বা 100 সেমি রাখা হয়)। তিনবার এই দূরত্ব মাপিয়া গড় পাঠ (L) লওয়া হইল।

(v) একটি স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে দণ্ডটির বেধ (d) ও প্রস্থ (b) কয়েকস্থানে মাপিয়া গড় পাঠ লওয়া হইল।

(vi) সরু কাঁটাযুক্ত ফ্রেমটির হুকে কোন ভার না দেওয়া অবস্থায়, একটি ভার্নিয়ার মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে, ঐ ফ্রেমের কাঁটার সূক্ষ্ম অগ্রভাগ ফোকাস করিয়া, মাইক্রোস্কোপের পাঠ (মূল স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেল) লওয়া হইল। ইহাই প্রারম্ভিক পাঠ (l_0)।

(vii) এইবার হুকের উপর ধাপে ধাপে পর্যায়ক্রমে $\frac{1}{2}$ কিলোগ্রাম ওজন চাপানো হইতে লাগিল এবং প্রতিবারে মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে কাঁটার সূক্ষ্ম অগ্রভাগ ফোকাস করিয়া, মাইক্রোস্কোপের পাঠ লওয়া হইতে লাগিল। প্রতিবারের পাঠ হইতে প্রারম্ভিক পাঠ বিয়োগ করিলে, সেই ভারের জন্য দণ্ডের মধ্যবিন্দুর অবনমনের পরিমাণ (l_1) পাওয়া যাইবে।

(viii) পুনরায়, ভারগুলিকে ধাপে ধাপে নামাইয়া, প্রতিবার পূর্বের ন্যায় মাইক্রোস্কোপের পাঠ (l_2) লওয়া হইল (এক্ষেত্রে সূচকের আরোহণ ঘটিবে)।

(ix) পাঠ l_1 ও l_2-এর গড় হইতে, নির্দিষ্ট ভারের জন্য দণ্ডের মধ্যবিন্দুর গড় অবনমন (l) পাওয়া যাইবে।

(x) অন্যান্য রাশিগুলির মান (3·7a) সমীকরণে বসাইয়া, একটি নির্দিষ্ট ভারের (M) জন্য গড় অবনমনের মান (l) জানা থাকিলে Y-এর মান ঐ সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে।

(xi) দণ্ডের দৈর্ঘ্য (L) পরিবর্তন করিয়া, আরও দুইটি ভিন্ন দৈর্ঘ্য লইয়া পরীক্ষাটি আগাগোড়া পুনরাবৃত্তি করা হইল।

ফল (Results) :

সারণী—1

দণ্ডের দৈর্ঘ্য (L) নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মিটার স্কেলের বামপ্রান্ত (সেমি)	মিটার স্কেলের ডানপ্রান্ত (সেমি)	দণ্ডের দৈর্ঘ্য (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য (L) (সেমি)
1	...	...		
2	...		...	...
3	...	..	...	

সারণী—2

দণ্ডের প্রস্থ (b) ও বেধ (d) নির্ণয়

ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুবক = ...সেমি

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা		মূল স্কেলের পাঠ (A) সেমি	ভার্নিয়ারের মান (B) ($n \times v.c.$) সেমি	মোট পাঠ $T = A + B$ সেমি	গড় পাঠ সেমি	যান্ত্রিক ত্রুটি সেমি	সংশোধিত পাঠ সেমি
1		...	...	...			
2	প্রস্থ (b)	...	...	...	...	...	...
3		...	...	...			
1		...	...	...			
2	বেধ (d)	...	...	...	...	...	...
3		...	...	...			

দ্রষ্টব্য : পরীক্ষাধীন দণ্ডটির একপ্রস্থ পাঠ লওয়ার পর, দণ্ডটিকে 90° ঘুরাইয়া ছুরিফলকের উপর রাখিতে হইবে। সেক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য একই থাকিবে কিন্তু এখন প্রস্থ ও বেধ পরস্পরের মান পরিবর্তিত হইবে। এই অবস্থায় আবার সমস্ত পাঠগুলি একদফা লইতে হইবে। যদি দণ্ডটিকে 90° ঘুরাইয়া ছুরিফলকের উপর সাম্য অবস্থায় রাখা সম্ভব না হয়, সেক্ষেত্রে উহাকে 180° ঘুরাইয়া

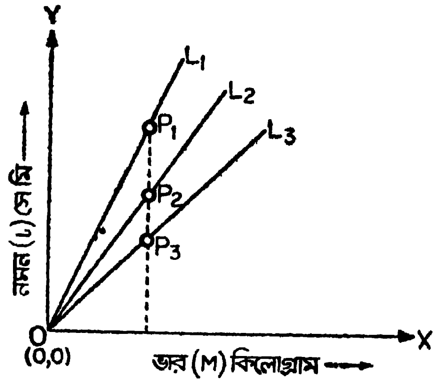
সারণী—3

ভার-অবনমন পাঠতালিকা

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ভার (M) কিগ্রাম	মাইক্রোস্কোপের পাঠ: ভারবৃদ্ধির সময়ে: মূল স্কেল (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেল (সেমি)	মোট পাঠ (a) (সেমি)	ভারহ্রাসের সময়ে: মূল স্কেল (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেল (সেমি)	মোট পাঠ (b) (সেমি)	গড় পাঠ $x=\frac{a+b}{2}$ (সেমি)	দণ্ডের মধ্যভাগের অবনমন (l) (সেমি)	দণ্ডের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (L) (সেমি)
1	0	...	...	...	...	...	...	...(x_0)	0	
2	0·5	...	...	...	...	...	...	...(x_1)	(x_1-x_0)	
3	1·0	...	...	...	...	...	...	...(x_2)	(x_2-x_0)	
4	1·5	...	...	...	...	...	...	...(x_3)	(x_3-x_0)	...
...	...							...	...	
...	...							...	...	
8	...							...	...	

দিতে হইবে (upside down) এবং দৈর্ঘ্য ঠিক রাখিয়া আর এক পর্যায় পাঠ লইতে হইবে।

লেখচিত্র-অঙ্কন : লেখচিত্রে X-অক্ষ বরাবর ভার (M) কিলোগ্রাম এবং Y-অক্ষ বরাবর, মধ্যবিন্দুর অবনমন (l) সংস্থাপিত করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিতে



চিত্র 3.13

হইবে, উহা একটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা (চিত্র 3.13) হইবে। মূলবিন্দু লেখচিত্রে (0, 0) লইতে হইবে। এই সরলরেখার উপর যে কোন একটি বিন্দু P লইয়া, সেই বিন্দুর ভুজ ও কোটির মান লইয়া সমীকরণ (3·7a)-এ বসাইলে দণ্ডের উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক (Y)-এর মান পাওয়া যাইবে। তিনটি বিভিন্ন দৈর্ঘ্য (দণ্ডের) লইলে, তিনটি বিভিন্ন সরলরেখা লেখচিত্র পাওয়া যাইবে এবং সেগুলি একই লেখচিত্রে সুবিধা অনুযায়ী অঙ্কন করা যাইতে পারে (চিত্র 3.13 দ্রষ্টব্য)।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) ইয়ং-গুণাঙ্কের মানে (সমীকরণ 3·7a) দণ্ডের দৈর্ঘ্য (L) ও বেধ (d)-এর ঘাত 3 থাকায়, ঐ রাশি দুইটি অত্যন্ত যত্নসহকারে মাপা প্রয়োজন। তবে L-এর মান সাধারণতঃ বেশী হয় (80 সেমি, 90 সেমি, 100 সেমি) কিন্তু d-এর মান খুব কম। সেজন্য উহার পরিমাপে সামান্য ভুল হইলে, Y-এর মান খুব বেশী ভুল হইবে। সেজন্য, সম্ভব হইলে, d-এর পরিমাপ স্লাইড ক্যালিপার্সের পরিবর্তে স্ক্রু-গেজ দ্বারা করা বাঞ্ছনীয়।

(ii) পরীক্ষাকালে দণ্ডটি অনুভূমিক থাকা প্রয়োজন এবং ফ্রেমটিকে এমন ভাবে উহার উপর রাখিতে হইবে যেন, ঠিক দণ্ডের মধ্যভাগেই ভার কার্যকরী হয় এবং ঐ বিন্দুর অবনমন ঘটে।

(iii) মাইক্রোস্কোপে পাঠ লইবার সময়ে যেন উহার স্ক্রু সর্বদা একইদিকে ঘোরানো হয় অর্থাৎ, উহার লেন্সযুক্ত দণ্ডটিকে যেন একইসঙ্গে উঠানো-নামানো না হয়। ইহাতে অবনমন পাঠে ভুল আসিতে পারে।

প্রশ্নোত্তর

[ইয়ং-গুণাঙ্ক সংক্রান্ত পরীক্ষার (3·5 ও 3·6) প্রশ্নোত্তরগুলি প্রথমে তৈয়ারী করা প্রয়োজন।]

প্রঃ এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত দণ্ড ও একটি ক্যান্‌টিলিভার-এর মধ্যে পার্থক্য কি ?

উঃ ক্যান্‌টিলিভারের ক্ষেত্রে দণ্ডের এক প্রান্ত স্থির রাখিয়া (fixed), উহার অপর প্রান্তে ভার চাপাইয়া, সেই মুক্ত প্রান্তের অবনমন লক্ষ্য করা হয়।

প্রঃ এই পরীক্ষায় ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয়ে, অনুদৈর্ঘ্য পীড়নের কিভাবে সৃষ্টি হইতেছে ?

উঃ দণ্ডটিতে মধ্যবিন্দুতে ভার প্রয়োগের ফলে, উহা বাঁকিয়া যায় এবং তাহাতে উহার উপর অংশ অবতল এবং নিম্নাংশ উত্তল আকার পায়। ইহার ফলে নিম্নতলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হয় এবং উপর তলের দৈর্ঘ্য হ্রাস পায়। এরূপ দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের ফলে দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি বলের সৃষ্টি হয়, যাহা অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন সৃষ্টি করে।

প্রঃ এই পরীক্ষায় অসহভার (breaking load) নির্ণয় করা সাধারণতঃ হয় না কেন ?

উঃ এই আকারের দণ্ডের অসহভার অনেক বেশী। পরীক্ষাকালে মোট যে পরিমাণ ভার প্রয়োগ করা হয়, তাহা অসহভার অপেক্ষা অনেক কম বলিয়া ঐ ভারসীমা নির্ণয় করার প্রয়োজন হয় না।

প্রঃ নিরপেক্ষ তল (neutral surface) কাহাকে বলে ?

উঃ ভার চাপানোর পরে যে উত্তল ও অবতল অংশের সৃষ্টি হয়, সেই অংশদ্বয়ের মধ্যখানে একটি তল (layer) থাকে যাহার দৈর্ঘ্য হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে না। এই তলকে নিরপেক্ষ তল বলে।

প্রঃ দণ্ডটি খুব ভারী হইলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে কার্যকরী সূত্রটি (3·7a) পরিবর্তিত হইবে। তবে দণ্ডের ওজন, প্রযুক্ত ভারের তুলনায় কম হইলে, উহার ওজন প্রাথমিক ভরের (initial load) ভিতর অন্তর্ভুক্তি করিয়া লওয়া যায়।

[ইহা ব্যতীত, বক্রতাজনিত দৃঢ়তা (flexural rigidity); বক্রতাভ্রামক (bending moment); জাড্যভ্রামক (moment of inertia) ইত্যাদি সংশ্লিষ্ট শব্দগুলির সহিত এই প্রসঙ্গে পরিচিত হওয়া প্রয়োজন।]

3.8 স্থিতীয় পদ্ধতিতে কোন তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Modulus of Rigidity of the material of a wire by Statical method)

মূলনীতি (Theory): একটি সমসত্ত্ব তারের যদি দৈর্ঘ্য l ও ব্যাসার্ধ r হয় এবং যদি উহার একপ্রান্ত নির্দিষ্ট থাকে এবং উহার অপর প্রান্তে দৈর্ঘ্যের লম্বভাবে C ভ্রামকবিশিষ্ট একটি দ্বন্দ্ব (couple) প্রয়োগ করিয়া যদি উহাকে মোচড়ানো যায়, তাহা হইলে, ঐ মুক্ত প্রান্তে মোচড়ের (twist) পরিমান (θ) হইবে,

$$\theta = \frac{2l}{\pi n r^4} C$$ যখন n—ঐ তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক ... ... (3·8a)

এই সমীকরণে l, r এবং C যদি সি. জি. এস. এককে হয় এবং θ যদি রেডিয়ানে হয়, তাহা হইলে n-এর মান হইবে ডাইন/বর্গসেমি এককে। এখন এই দ্বন্দ্ব যদি M ভার প্রয়োগ করিয়া একটি চোঙ মাধ্যমে প্রয়োগ করা হয় এবং যদি ঐ চোঙের ব্যাস d সেমি হয়, তাহা হইলে $C = Mgd$ ডাইন-সেমি ... (3·8b)

যদি লক্ষিত মোচড়ের পরিমাণ ϕ ডিগ্রী হয়, তাহা হইলে,

$$\theta = \frac{\pi}{180}\phi$$ রেডিয়ান ... ... (3·8c)

সমীকরণ (3·8b ও 3·8c) হইতে C ও θ-র মান সমীকরণ (3·8a)-তে বসাইলে,

$$\frac{\pi}{180}\phi = \frac{2l}{\pi n r^4} Mgd$$

$$\text{বা} \quad n = \frac{360\, lgd}{\pi^2 r^4}\left(\frac{M}{\phi}\right) \text{ ডাইন/বর্গসেমি} \quad \cdots \quad (3\cdot8d)$$

$$= K.\left(\frac{M}{\phi}\right) \quad \cdots \quad (3\cdot8e)$$

$$\text{যখন} \quad K = \frac{360\, lgd}{\pi^2 r^4}$$

বিভিন্ন ভারের (M) জন্য মোচড়ের পরিমাণ (ϕ) মাপা হইলে এবং তারের ও চোঙের বিভিন্ন জ্যামিতিক পরিমাপ হইতে K-এর মান জানা থাকিলে, (3·8e) সমীকরণ হইতে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক (n)-এর মান জানা যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus):

দ্বিতীয় পদ্ধতিতে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক মাপিবার বিশেষ যন্ত্র ; ওজনের বাটখারা ; স্ক্রু-গেজ, মিটার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স।

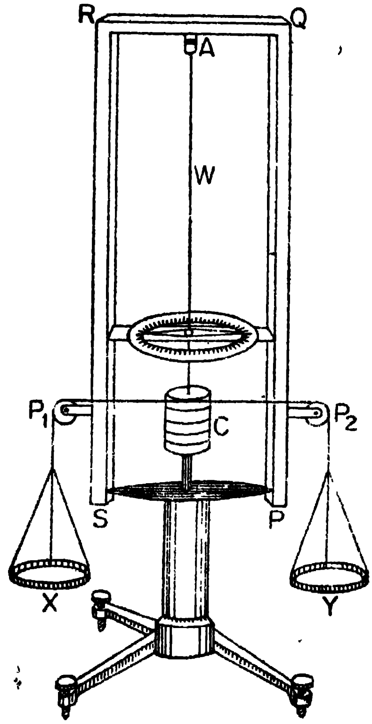
দ্বিতীয় পদ্ধতিতে মাপার জন্য এক বিশেষ ধরনের যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রকে বার্টনের যন্ত্র (Barton's apparatus) বলে। ইহাতে স্ক্রু-যুক্ত একটি ভারী লোহার ফ্রেম থাকে যাহার উপর উল্লম্বভাবে একটি ফ্রেম ($PQRS$) আটকানো থাকে (চিত্র 3.14)। পরীক্ষাধীন তারটি (W) ঐ ফ্রেমের উপরের অংশের A বিন্দুতে দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে। তারের নিম্নপ্রান্তে একটি নিরেট চোঙ (C) থাকে যাহার নীচে ভার ঝুলাইয়া তারটিকে টান রাখা যায়। চোঙের নীচে দুইগাছা সূতা একই দিকে জড়াইয়া উপরের দিকে আনা হয় এবং সূতার অপর প্রান্তদ্বয় চোঙের ব্যাসের বিপরীত প্রান্ত হইতে বাহির করিয়া দুইটি পুলির (P_1, P_2) উপর দিয়া দুইটি ভারবাহী পাল্লার (X, Y) সহিত যুক্ত হয়। এই পাল্লাদ্বয়ের উপর ভার চাপাইয়া চোঙের উপর দ্বন্দ্ব (couple) প্রয়োগ করা যায়। এই প্রযুক্ত দ্বন্দ্বের ফলে তারের নিম্নপ্রান্ত মোচড় খায় এবং ঐ মোচড়ের পরিমাণ একটি ডিগ্রীতে অঙ্কিত স্কেলের (S_1) সাহায্যে মাপা যায়। একটি সূচক (p) ঐ স্কেলের উপর মোচড়ের ফলে ঘুরিতে পারে।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure):

(i) যন্ত্রটিকে প্রথমে স্ক্রু-এর সাহায্যে ঠিক উল্লম্বভাবে রাখা হইল। ইহার পর একটি স্কেলের সাহায্যে তারটির দৈর্ঘ্য (A হইতে চোঙের প্রান্ত পর্যন্ত, যেখানে সূচক 'p' বাঁধা থাকে) মাপা হইল (l)।

(ii) একটি স্ক্রু-গেজের সাহায্যে পরীক্ষাধীন তারটির (W) ব্যাস অন্ততঃ পাঁচটি বিভিন্ন স্থানে মাপিয়া গড় ব্যাস (r) নির্ণয় করা হইল।

(iii) চোঙের দুইপ্রান্তে যেখানে সুতার দুইটি মুখ বাহির হইয়াছে, সেখানে চোঙের ব্যাস (d) একটি স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে কয়েকবার লওয়া হইল এবং গড় ব্যাস নির্ণয় করা হইল।



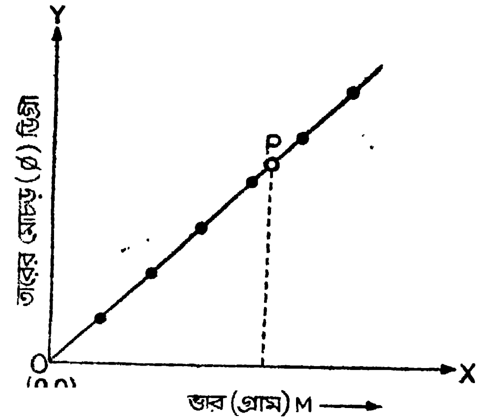
চিত্র 3.14 : বার্টনের যন্ত্র

(iv) এইভাবে l, r, d-এর মান পাইলে, ঐগুলি সমীকরণ (3·8e)-তে বসাইলে K-এর মান পাওয়া যাইবে।

(v) সুতার সহিত বাঁধা দুইটি পাল্লার (X, Y) উপর শূন্য হইতে আরম্ভ করিয়া ধাপে ধাপে ভার বাড়ানো হইতে লাগিল এবং প্রতি ভারের জন্য সূচকের (p) বৃত্তীয় স্কেলে (S_1) কতখানি ঘূর্ণন হয়, তাহার পাঠ লওয়া হইল। এইভাবে, ধাপে ধাপে ওজন বাড়াইয়া এবং আবার কমাইয়া শূন্য ওজন পর্যন্ত দুই দফা পাঠ লওয়া হইল। এই দুই দফা পাঠের গড় হইতে, নির্দিষ্ট ভারের জন্য প্রযুক্ত দ্বন্দ্বের জন্য ভারের মোচড়ের পরিমাণ (ϕ) পাওয়া যাইবে।

(vi) বিভিন্ন ভারযুগল (M) ও তাহার সংশ্লিষ্ট মোচড় (ϕ)-কে দুই অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। এই লেখচিত্র (চিত্র 3.15) একটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হইবে।

(vii) ঐ লেখচিত্রের উপরিস্থিত যে কোন একটি বিন্দু (P) লইয়া, তাহার ভুজ ও কোটির মান হইতে (M/ϕ) পাওয়া যাইবে এবং সেই মান সমীকরণ (3·8e)-এ বসাইলে, n-এর মান পাওয়া যাইবে।



চিত্র 3.15

ফল (Results) :

সারণী—1
তারের ব্যাস (r) নির্ণয়

[স্ক্রু-গেজ পদ্ধতির দ্বারা তারের ব্যাস নির্ণয়, 2·5-এ প্রদত্ত তালিকা অনুযায়ী একটি সারণী মারফৎ প্রকাশ করিতে হইবে। অন্ততঃ পাঁচটি বিভিন্ন জায়গায় লম্বভাবে তারের ব্যাস লইতে হইবে।]

সারণী—2
তারের দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয়

[3·5-এ প্রদত্ত সারণী-2 অনুযায়ী একটি সারণীর মাধ্যমে তারের দৈর্ঘ্য লিপিবদ্ধ করিতে হইবে।]

সারণী—3
চোঙের ব্যাস (d) নির্ণয়

[2·3-এ প্রদত্ত স্লাইড ক্যালিপার্সের দ্বারা দৈর্ঘ্য (ব্যাস) নির্ণয়কালে যে সারণী দেওয়া হইয়াছে, সেভাবে চোঙের ব্যাস পরিমাপ করিয়া লিপিবদ্ধ করিতে হইবে]

দ্রষ্টব্য : যদি সূচকের একটিমাত্র প্রান্ত থাকে, তাহা হইলে শুধুমাত্র ঐ প্রান্তের পাঠ লইতে হইবে, দ্বিতীয় প্রান্তের জন্য পাঠ লিপিবদ্ধ করিতে হইবে না।

সারণী—4
ভার-মোচড় (M—ϕ) সম্পর্ক তালিকা

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পাল্লায় প্রদত্ত ভার (M) গ্রাম	স্কেলের উপর সূচকের পাঠ (ডিগ্রীতে)				প্রথম প্রান্তের পাঠের গড় (a) (ডিগ্রী)	দ্বিতীয় প্রান্তের পাঠের গড় (b) (ডিগ্রী)	মোট মোচড়ের পরিমাণ (ϕ) (ডিগ্রী)		গড় মোচড়ের পরিমাণ (ϕ) (ডিগ্রী) $\phi=\frac{x_1+x_2}{2}$
		ভার বৃদ্ধিকালে		ভার হ্রাসকালে				প্রথম প্রান্ত (x_1)	দ্বিতীয় প্রান্ত (x_2)	
		সূচকের প্রথম প্রান্ত	সূচকের দ্বিতীয় প্রান্ত	সূচকের প্রথম প্রান্ত	সূচকের দ্বিতীয় প্রান্ত					
1	0	…	…	…	…	…(a_0)	…(b_0)	0	0	0
2	…	…	…	…	…	…(a_1)	…(b_1)	(a_1-a_0)	(b_1-b_0)	…
3	…				…	…	…	(a_2-a_0)	(b_2-b_0)	…
4	…						…	…	…	
…	…						…	…		
…	…						…	…		
8	…					…(a_7)	…(b_7)	(a_7-a_0)	(b_7-b_0)	…

লেখচিত্র অঙ্কন :

পূর্বে বর্ণিত [পরীক্ষাপদ্ধতি (vii)] পদ্ধতি অনুযায়ী M বনাম ϕ-এর লেখচিত্র (চিত্র 3.15) অঙ্কন করিয়া একটি বিন্দুর $\left(\frac{M}{\phi}\right)$-এর মান বাহির করিয়া এবং অন্যান্য মানগুলি (r, l, d) সমীকরণ (3·8e)-এ বসাইয়া, n-এর মাননির্ণয় করিতে হইবে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) তারের ব্যাসার্ধের (r) ঘাত 4 থাকায়, ঐ ব্যাসার্ধ অত্যন্ত যত্নসহকারে মাপা প্রয়োজন। এই পরিমাপে সামান্য ভুল হইলে, তাহার চারগুণ ভুল n-এর মানে আসিবে।

(ii) তারটি যেন ঠিক চোঙের মধ্যবিন্দু দিয়া অতিক্রম করে এবং সুতাদ্বয়ের প্রান্তগুলি যেন অনুভূমিকভাবে এবং সমান্তরালভাবে থাকে।

(iii) পাল্লায় ওজনগুলি চাপাইয়া কিছু সময় দেওয়া প্রয়োজন সূচকের পাঠ লওয়ার আগে। পাঠ লওয়ার সময়ে যেন সূচক স্থির থাকে।

(iv) সম্ভব হইলে, বৃত্তীয় স্কেলটি স্ক্রু-এর সাহায্যে সরাইয়া (যদি সেই ব্যবস্থা থাকে), তারটির অপর এক অংশে নির্দিষ্ট করিয়া (অর্থাৎ পরীক্ষাধীন তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া) পুনরায় সমগ্র পরীক্ষাটি সম্পন্ন করা যাইতে পারে।

প্রশ্নোত্তর

[এই পরীক্ষার সংশ্লিষ্ট প্রশ্নোত্তরগুলি পরবর্তী পরীক্ষার (গতীয় পদ্ধতিতে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়) শেষে একত্রে সন্নিবেশিত হইল।]

3.9 গতীয় পদ্ধতিতে কোন তারের উপাদানের দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the Modulus of Rigidity of the material of a wire by Dynamical method) :

মূলনীতি (Theory) :

তার দ্বারা ঝুলানো কোন একটি বস্তুকে একপাশে সামান্য ঘুরাইয়া ছাড়িয়া দিলে, ঐ বস্তুটি তারটিকে অক্ষ করিয়া ঘুরিতে থাকিবে (ঘূর্ণন গতি হইবে)। এই ঘূর্ণন গতির দোলনকাল (T) হইবে $T=2\pi\sqrt{I/C}$ ... (3·9a)

যখন I = বস্তুটির উহার অক্ষ বরাবর জাড্যভ্রামক

এবং C = তারের নিম্নপ্রান্তকে এক রেডিয়ান মোচড়াইতে যে দ্বন্দ্বের প্রয়োজন হয়।

এখন যদি তারটির প্রস্থচ্ছেদ গোলাকার হয় (πr^2) এবং তারটির দৈর্ঘ্য l হয়, তাহা হইলে

$$C=\frac{\pi n r^4}{2l}$$ যখন n- তারের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক ... (3·9b)

সুতরাং সমীকরণ (3·9*a*) ও (3·9*b*) হইতে

$$C=\frac{4\pi^2 I}{T^2}=\frac{\pi n r^4}{2l}$$

অর্থাৎ, $$n=\frac{8\pi l I}{T^2 r^4} \quad \cdots \quad \cdots \quad (3{\cdot}9c)$$

এখন, l, I, T এবং r জানা থাকিলে, তারের দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক n-এর মান পাওয়া যাইবে।

পরীক্ষাধীন বস্তুটি যদি একটি সমব্যাসের নিরেট চোঙ হয়, তাহা হইলে উহার অক্ষ বরাবর জাড্যভ্রামকের মান হইবে $I=\frac{1}{2}MR^2$

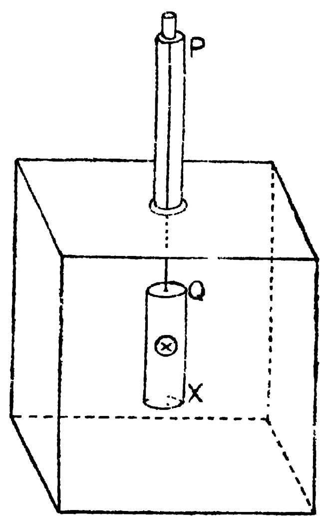
যখন M- চোঙের ভর

এবং R- চোঙের ব্যাসার্ধ ··· (3·9d)

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

গতীয় পদ্ধতির যন্ত্র ; স্টপঘড়ি ; স্ক্রুগেজ, স্লাইড ক্যালিপার্স ; তুলাযন্ত্র, মিটার স্কেল।

গতীয় পদ্ধতির যন্ত্রে একটি লম্বা তার (PQ) থাকে যাহার নীচে একটি নিরেট ভারী চোঙ (X) ঝুলানো থাকে (চিত্র 3.16)। তারটির উপর প্রান্ত (P) একটি শক্তবিন্দুতে আটকানো থাকে। চোঙের অক্ষরেখা বরাবর তারটি লাগানো থাকে।



চিত্র 3.16 : গতীয় পদ্ধতিতে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়

চোঙের গায়ে একটি দাগ ⊗ দেওয়া থাকে যাহার সাহায্যে চোঙের দোলনকাল নির্ণয় করা হয়। সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাচের বাক্সের মধ্যে আটকানো থাকে যাহাতে ইহা বায়ুদ্বারা প্রভাবিত না হয়।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চোঙটিকে তার হইতে খুলিয়া প্রথমে ইহার ভর (M) লওয়া হইল এবং ইহার ব্যাস একটি স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল, যাহা হইতে উহার ব্যাসার্ধ (R) পাওয়া গেল।

(ii) এই অবস্থায় তারটির দৈর্ঘ্য (l) মাপা হইল। এই দৈর্ঘ্য তারটি যে-স্থান হইতে ঝুলানো হইয়াছে, সেই স্থান হইতে, তারটি যেখানে চোঙটিকে ধরিয়া রাখিয়াছে, সেইস্থান পর্যন্ত হইবে।

(iii) তারটির ব্যাসার্ধ (r) একটি স্ক্রুগেজের সাহায্যে অন্ততঃ পাঁচটি বিভিন্ন জায়গায় এবং প্রতি স্থানে লম্বালম্বিভাবে মাপা হইল। ইহা হইতে গড় ব্যাস (r) পাওয়া যাইবে।

(iv) চোঙটিকে এবার ঝোলানো অবস্থায় সামান্য মোচড় দিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হইল। ফলে চোঙটির মধ্যে ঘূর্ণনগতির সৃষ্টি হইবে এবং উহা দুলিতে থাকিবে। উহার গায়ের দাগটির ⊗ উপর নজর রাখিয়া, উহার 30টি পূর্ণ ঘূর্ণনের সময় স্টপওয়াচের দ্বারা মাপা হইল। এরূপ অন্ততঃ তিনবার মাপা প্রয়োজন। এই পাঠ হইতে উহার দোলনকাল (T) পাওয়া যাইবে।

(v) চোঙটির ভর (M) ও ব্যাসার্ধ (R) হইতে (3·9d) সূত্রানুসারে উহার জাড্যভ্রামক (I) পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

চোঙের ভর (M) = ·· ···গ্রাম

সারণী—1
চোঙের ব্যাসার্ধ (R) নির্ণয়

স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ······সেমি

[2·4-এ প্রদত্ত ক্যালিপার্সের দ্বারা পরিমাপের সারণী অনুযায়ী একটি সারণী তৈয়ারী করিতে হইবে।]

সারণী—2
চোঙের জাড্যভ্রামক (I) নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	চোঙের ভর (M)	চোঙের ব্যাসার্ধ (R)	চোঙের জাড্যভ্রামক $I=\frac{1}{2}MR^2$
1			
2	গ্রাম	সেমি	···গ্রাম (সেমি)^2

তারের দৈর্ঘ্য নির্ণয় (l)

(i) ·সেমি ; (ii) ······সেমি ; (iii) ······সেমি

গড় দৈর্ঘ্য (l) = ······সেমি

সারণী—3
তারের ব্যাসার্ধ (r) নির্ণয়

স্ক্রুগেজের লঘিষ্ঠ মাপ = ······সেমি.

[2·5-এর সারণী অনুযায়ী স্ক্রু-গেজের দ্বারা ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের পদ্ধতি অনুসারে সারণী করিতে হইবে।]

সারণী—4
চোঙের দোলনকাল (T) নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	30টি দোলনের সময় (সেকেণ্ড)	গড় সময় (সেকেণ্ড)	দোলনকাল (T) (সেকেণ্ড)
1	...		
2	...	...	...
3	...		
4	...		

হিসাব (Calculation) :

সূত্র (3·9c) হইতে $n = \frac{8\pi l I}{r^4 T^2}$

l, I, r ও T-এর মান বসাইয়া, দৃঢ়তা গুণাঙ্কের মান (n) নির্ণয় করা যায়।

∴ n = ······ডাইন/বর্গসেমি.

সতর্কতা (Precautions) :

(i) তারের ব্যাসার্ধ (r) ও চোঙের দোলনকাল (T)-এর মান যথাক্রমে চতুর্থ ও দ্বিতীয় ঘাতে থাকার দরুন উহাদের মান খুব সতর্কতার সহিত পরিমাপ করা উচিত।

(ii) চোঙের অক্ষরেখা বরাবর যেন তারটি ঝুলানো থাকে

(iii) চোঙের ঘূর্ণনকালে যেন দোলন-ঘড়ির মত দোলন না ঘটে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ দৃঢ়তা গুণাঙ্ক কাহাকে বলে এবং ইহার একক কি ?

উঃ (সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য)—একক : ডাইন/বর্গ সেমি।

প্রঃ স্থিতীয় পদ্ধতিতে তারের মোচড়ের পরিমাণ কোথায় কতখানি ?

উঃ তারটি উপরে যে বিন্দুতে নির্দিষ্ট থাকে, সেখানে মোচড় শূন্য। উহা ক্রমশঃ নীচের দিকে বাড়িতে থাকে।

প্রঃ তারের মোচড়ের পরিমাণ কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ উহা তারের C-এর মানের উপর নির্ভর করে। C-এর মান কম হইলে মোচড়ের পরিমাণ বেশী হইবে, যেহেতু $C=\pi nr^4/2l$। সুতরাং r কম হইলে বা দৃঢ়তা গুণাঙ্ক (n) কম হইলে বা দৈর্ঘ্য (l) বেশী হইলে, মোচড়ের পরিমাণ বেশী হইবে। এজন্যই বস্তু দোলানোর ক্ষেত্রে (যেখানে ঘূর্ণন দোলন ঘটে) কোয়ার্টজ ফাইবার ব্যবহার করা হয়, কারণ উহার দৃঢ়তা গুণাঙ্ক খুব কম।

প্রঃ কতখানি পর্যন্ত ভর (M) ব্যবহার করা যায় ?

উঃ তারের মোচড় সর্বাপেক্ষা বেশী ততখানি হওয়া উচিত, যতখানি হইলে উহার স্থিতিস্থাপকতা সীমা অতিক্রান্ত না হয়।

প্রঃ ভর (চূড়ান্ত) কিভাবে নির্ণয় করা যায় ?

উঃ অধিকাংশ তারের ক্ষেত্রে কৃন্তন কোণ (angle of shear) $\frac{1}{10}$ ডিগ্রী বেশী না হইলে, স্থিতিস্থাপকতা সীমা অতিক্রম করে না। কিন্তু কৃন্তন কোণ (θ) ও মোচড়ের (ϕ) মধ্যে সম্পর্ক $\phi=\frac{l\theta}{r}$। সুতরাং θ-কে $\frac{1}{10}$ ডিগ্রী ধরিয়া l ও r-এর মান বসাইলে, সর্বাপেক্ষা অনুমোদিত মোচড়ের পরিমাণ জানা যায়। ঐ চূড়ান্ত মোচড় দিতে যে ভর লাগে, তাহাই চূড়ান্ত ভর।

প্রঃ এই পদ্ধতিকে স্থিতীয় পদ্ধতি বলা হয় কেন ?

উঃ যখন সব পরিমাপ করা হয়, তখন যন্ত্রের সমস্ত অংশাবলীই স্থিতীয় অবস্থায় থাকে।

প্রঃ উভয় পদ্ধতিতে কি একই তারের দৃঢ়তা গুণাঙ্কের মান সমান হইবে ?

উঃ না, স্থিতীয় পদ্ধতিতে n-এর মান কম পাওয়া যায়। কারণ দ্বন্দ্ব বেশীক্ষণ প্রযুক্ত হইলে, মোচড়ের পরিমাণ সামান্য বেশী হয়। যেহেতু স্থিতীয় পদ্ধতিতে দ্বন্দ্ব প্রয়োগের সময় বেশী (গতীয় পদ্ধতি অপেক্ষা), সেজন্য এক্ষেত্রে মোচড় বেশী হয় এবং ফলে n-এর মান কম আসে।

প্রঃ দৃঢ়তা গুণাঙ্কের সহিত ইয়ং-গুণাঙ্কের কি সম্পর্ক ?

উঃ $Y=2n(1+\sigma)$ যেখানে σ- পয়সনের অনুপাত।

প্রঃ তারের ব্যাস, দৈর্ঘ্য ইত্যাদির উপর কি n-এর মান নির্ভর করে ?

উঃ না, n-এর মান শুধুমাত্র তারের উপাদানের উপর নির্ভর করে।

প্রঃ গতীয় পদ্ধতিতে দোলনকাল (চোঙের) কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ তারের ব্যাস বৃদ্ধি পাইলে বা দৈর্ঘ্য হ্রাস পাইলে, দোলনকাল হ্রাস পাইবে।

প্রঃ চোঙের ভরের উপর কি উহার দোলনকাল নির্ভর করে ?

উঃ ভর বৃদ্ধি পাইলে জাড্যভ্রামক বৃদ্ধি পায়। ফলে দোলনকাল বৃদ্ধি পায়।

প্রঃ পরীক্ষায় চোঙের দোলনকাল বেশী বা কম—কোন্‌টি বাঞ্ছনীয় ?

উঃ চোঙের দোলনকাল বেশী হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রঃ স্থিতীয় পদ্ধতিকে গতীয় পদ্ধতি বলে কেন ?

উঃ (T) পরিমাপ লওয়ার সময়ে, চোঙটি গতিশীল (দোলন) থাকে বলিয়া।

প্রঃ দুইটি পদ্ধতির মধ্যে কোন্ পদ্ধতি অবলম্বন করা বেশী কাম্য

উঃ গতীয় পদ্ধতি, কারণ এক্ষেত্রে দোলনকাল অতি সূক্ষ্মতার সহিত পরিমাপ করা যায়।

3.10 কৈশিক নল পদ্ধতিতে তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় এবং জুরিন সূত্রের সত্যতা নির্ধারণ (Determination of Surface Tension of a liquid by capillary tube method and verification of Jurin's law)

মূলনীতি (Theory): সমব্যাসসম্পন্ন একটি কৈশিক নলকে যদি কোন তরলের মধ্যে উল্লম্বভাবে ডুবানো যায়, তাহা হইলে ঐ তরল কৈশিক নলের মধ্যে কিছুদূর উঠিয়া যায় (যেক্ষেত্রে তরল নলকে সিক্ত করে)। যদি তরলের মুক্তভল হইতে ঐ উপরে উঠা তরলের উচ্চতা h সেমি হয়, এবং যেখানে পর্যন্ত তরল উঠিয়াছে, সেইখানে যদি নলের আভ্যন্তরীন ব্যাস (r) হয়, তাহা হইলে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান (surface tension)-এর মান হইবে

$$T=\frac{1}{2}\frac{r\rho g}{\cos\theta}\left(h+\frac{1}{3}r\right)=\frac{1}{2}\frac{r\rho gh'}{\cos\theta} \quad \cdots \quad (3{\cdot}10a)$$

যেখানে, ρ = তরলের ঘনত্ব ঘরের উষ্ণতায়

এবং g = অভিকর্ষজ ত্বরণ এবং θ = সংস্পর্শ কোণ

যেহেতু পরিষ্কার জলের ক্ষেত্রে $\theta=0°$, সুতরাং $T=\frac{1}{2}r\rho gh'$ ··· (3·10 b)

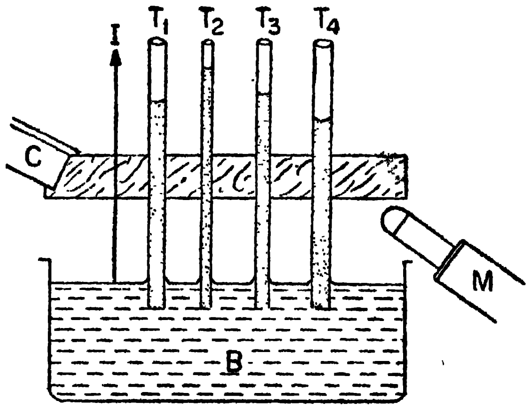
পরীক্ষা ব্যবস্থা (Experimental Arrangement): একটি সরু কাচের নলের (ব্যাস 4 বা 5 মিমি) ভিতর ভালভাবে পরিষ্কার করিয়া উহা হইতে 4টি বা 5টি বিভিন্ন ব্যাসের সরু কৈশিক নল (capillary tubes) টানা হইল। এই নলগুলি যেন যথাসম্ভব সমব্যাসসম্পন্ন হয়। এই কৈশিক নলগুলিকে একটি কাচের পাতের উপর সমদূরত্বে উল্লম্বভাবে মোমদ্বারা আটকানো হইল (চিত্র 3.17)। একটি 10 বা 15 সেমি লম্বা সূচককেও (I) ঐ কাচের পাতের উপর কৈশিক নলগুলির সহিত সমান্তরাল করিয়া আটকানো হইল। একটি আংটাদ্বারা (C) ঐ পাতটিকে এমনভাবে আটকানো হইল যাহাতে সমস্ত নলগুলি এবং সূচকটি ঠিক উল্লম্ব থাকে।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure):

(i) একটি পরিষ্কার বিকারে (B) পরীক্ষাধীন তরলটি লওয়া হইল এবং উহার উষ্ণতা (t_1°C) মাপা হইল। ইহার পর ঐ নলসমেত কাচের পাতটিকে আংটা দ্বারা নামাইয়া, নলগুলিকে আংশিকভাবে ঐ তরলে ডুবানো হইল এবং পাতটিকে উল্লম্বভাবে আটকানো হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, এই অবস্থায় যেন সূচকের (I) নিম্নপ্রান্ত ঠিক তরলের উপরিতলকে স্পর্শ করে।

(ii) একটি সঞ্চরণশীল মাইক্রোস্কোপ (M) লইয়া উহার দণ্ডটিকে ঠিক উল্লম্ব রাখিয়া উহার অণুবীক্ষণ নলকে ঠিক অনুভূমিক করিয়া, কৈশিক নলগুলির সামনে আনিয়া, নলের অভ্যন্তরস্থ তরলতলের (প্রকৃতপক্ষে অবতল কিন্তু মাইক্রোস্কোপে

উহাকে উল্টাভাবে উজ্জ্বল দেখা যাইবে) সহিত অণুবীক্ষণ নলের ক্রসওয়ারকে ফোকাস করা হইল। এই অবস্থায় অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সহিত সংশ্লিষ্ট উল্লম্ব স্কেল হইতে মূল স্কেল ও ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ লইয়া ঐ অবস্থায় মান লওয়া হইল (X)।



চিত্র 3.17 : কৈশিক নল পদ্ধতিতে পৃষ্ঠটান নির্ণয়

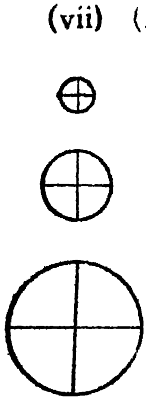
(iii) এইভাবে পরপর প্রতিটি কৈশিক নলের ক্ষেত্রে পাঠ লওয়া হইল।

(iv) এইবার মাইক্রোস্কোপটি ভূমি বরাবর সরাইয়া আনিয়া সূচকের উপরের তীক্ষ্ণ অগ্রভাগ ফোকাস করা হইল এবং মাইক্রোস্কোপের পাঠ (Y) লওয়া হইল।

(v) $(X-Y)$-এর মান হইতে প্রতিটি নলে তরলতল, সূচকের অগ্রভাগ হইতে কতখানি উঁচুতে বা নীচে আছে, তাহা জানা সম্ভব হইল।

(vi) সূচকটি যথাসম্ভব বড় হইলে (10 বা 15 সেমি), উহার দৈর্ঘ্য (l) একটি স্কেল বা অন্য উপায়ে নির্ণয় করা হইল।

(vii) $(X-Y)$-এর মান হইতে এবং সূচকের দৈর্ঘ্যের মান হইতে তরলপৃষ্ঠ হইতে প্রতিটি নলে কতটা উচ্চতা (h) পর্যন্ত তরল উঠিয়াছে তাহা জানা সম্ভব হইল [$h=l+(X-Y)$].



চিত্র 3.18

(viii) প্রতিটি নলে যে স্থান পর্যন্ত তরল উঠিয়াছে, সেই স্থানে একটি দাগ দিয়া, খুব সতর্কতার সহিত কৈশিক নলটিকে ঐ স্থানে একটি উখা (file) দ্বারা কাটা হইল। ক্রমপর্যায়ে ঐ নলগুলিকে একটি কাচের পাতের উপর অনুভূমিকভাবে সাজাইয়া, মাইক্রোস্কোপের সম্মুখে রাখা হইল।

(ix) প্রতিটি নলের গোলাকার প্রস্থচ্ছেদ একবার অনুভূমিক তলে, আর একবার উল্লম্বতলে দেখিয়া উহার ব্যাস মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে মাপা হইল (চিত্র 3.18)। এই দুই পরিমিত ব্যাসের মান হইতে, নলগুলির ক্রমপর্যায়ে ব্যাস নির্ণয় করা হইল। প্রতিটির ক্ষেত্রে

উল্লম্ব ব্যাস ও অনুভূমিক ব্যাসের গড় লইয়া উহার প্রকৃত ব্যাস নির্ণয় করিতে হইবে।

(x) তরলের ঘনত্ব নির্ণয়ের জন্য, ঘরের বা তরলের উষ্ণতা জানিয়া উহার মান বাহির করিয়া লইতে হইবে নির্দিষ্ট মান হইতে অথবা একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে উহার ঘনত্ব নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে।

পরীক্ষালব্ধ ফল (Results):

মাইক্রোস্কোপ স্কেলের ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ...সেমি.

সারণী—1
কৈশিক নলে তরলের উচ্চতা (h) নির্ণয়

নলের ক্রম-পর্যায় সংখ্যা	অণুবীক্ষণ যন্ত্রে উল্লম্ব স্কেলে — নলের অভ্যন্তরে তরলতলের পাঠ			অণুবীক্ষণ যন্ত্রে উল্লম্ব স্কেলে — সূচকের উপরের তীক্ষ্ণাগ্রের পাঠ			দুইপাঠের ব্যবধান $(X-Y)$ সেমি.	নলে তরলতলের উচ্চতা $h=l+(X-Y)$
	মূল স্কেল পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার স্কেলের মান (V) সেমি	মোট পাঠ সেমি $(M+V)=(X)$	মূল স্কেল পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ (V) সেমি	মোট পাঠ সেমি $Y=(M+V)$		
1	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...	...
3								
4								
5								
6								

সারণী—2
সূচকের দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয়

মিটার স্কেলে সূচকের বামপ্রান্তের পাঠ (l_1) সেমি	মিটার স্কেলে সূচকের ডানপ্রান্তের পাঠ (l_2) সেমি	সূচকের দৈর্ঘ্য $l=l_1-l_2$ সেমি	সূচকের গড় দৈর্ঘ্য l সেমি
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

সারণী—3
কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ (r) নির্ণয়

পাঠ	নলের ক্রমিক সংখ্যা	কৈশিক নলের						নলের অনুভূমিক/উল্লম্ব ব্যাস (d_1/d_2) সেমি.	নলের গড় ব্যাস (d) সেমি. $d=\frac{d_1/d_2}{2}$	নলের গড় ব্যাসার্ধ (r) সেমি. $r=d/2$
		অনুভূমিক ব্যাসের বামদিক/উল্লম্ব ব্যাসের নিম্নদিকের পাঠ			অনুভূমিক ব্যাসের ডানদিক/উল্লম্ব ব্যাসের উপরদিকের পাঠ					
		মূল স্কেলের পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ (V) সেমি.	মোট পাঠ ($M+V$) সেমি	মূল স্কেলের পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ (V) সেমি	মোট পাঠ ($M+V$) সেমি			
1(a) (b)	1	… …	… …	… x_1) …(x_2)	… …	… …	…(y_1) … y_2)	$d_1=x_1\sim y_1$ $d_2=x_2\sim y_2$	…	…
2(a) (b)	2	… …	… …	…(x_1) …(x_2)	… …	… …	… y_1) …(y_2)	$d_1=x_1\sim y_1$ $d_2=x_2\sim y_2$	…	…
3(a) (b)	3	… …	… …	…(x_1) … x_2)	… …	… …	…(y_1) … y_2)	… …	…	…
…	…	…	…	..	…	…				

দ্রষ্টব্য : (a) এবং (b) যথাক্রমে একই নলের একইস্থানে অনুভূমিক ও উল্লম্ব ব্যাসের পাঠ বুঝায়।

সারণী—4

তরলের ঘনত্ব নির্ণয়

[যদি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে তরলের ঘনত্ব নির্ণয় করা হয়, তাহা হইলে আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে পাঠের যথাযথ সারণী প্রস্তুত করিতে হইবে]

তরলের ঘনত্ব ($t°C$)-এ = ··· গ্রাম/বর্গসেমি

সারণী—5

পৃষ্ঠটান (T)-এর মান নির্ণয়

নলের ক্রমিক সংখ্যা	নলের ভিতর তরলের উচ্চতা (h) সেমি	তরলের কার্যকরী উচ্চতা (h') ($h+\frac{1}{3}r$) সেমি.	নলের ব্যাসার্ধ (r) সেমি	$h'\times r$-এর মান (সেমি)^2	গড় $h'\times r$-এর মান (সেমি)^2	পৃষ্ঠটান $T=\frac{1}{2}rh'\rho g$ ডাইন/সেমি	পৃষ্ঠটানের গড় মান T ডাইন/সেমি
1	...	...	...	...	...	(i) ...	
						($h'\times r$-এর সাংখ্যিক মান	
2	...	...	...	...	...	হইতে)	...
3	...	...	...	...	...	(ii) লেখচিত্র	($t°C$
4	...	...	...	...	...	হইতে	উষ্ণতায়)
...							
...							

জুরিনের সূত্র ও লেখচিত্র (Jurin's Law and the Graph)

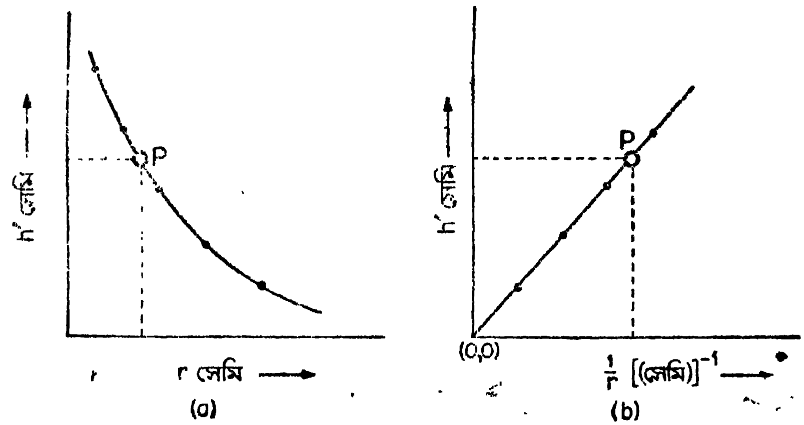
জুরিনের সূত্র অনুযায়ী, যখন কোন কৈশিক নলের ভিতর (ব্যাসার্ধ=r সেমি) তরলের কার্যকরী উচ্চতা (h') হয়, তখন ঐ তরলের ক্ষেত্রে $h'\times r$ = ধ্রুবক হইবে। এখন পরীক্ষা হইতে সারণী 5-এ প্রদত্ত ($h'\times r$)-এর মান নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে, উহা ধ্রুবক হইতেছে। সেক্ষেত্রে জুরিনের সূত্র প্রমাণিত হয়।

বিভিন্ন কৈশিক নলের ব্যাসার্ধকে (r) একটি লেখচিত্রের X-অক্ষ বরাবর এবং তরলের কার্যকরী উচ্চতাকে (h') Y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিলে একটি সমকৌণিক পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) পাওয়া যাইবে। যদি ($h'\times r$) = ধ্রুবক হয় (জুরিনের সূত্রানুযায়ী) তাহা হইলে h' বনাম r-এর

লেখচিত্র অনুরূপই হওয়া উচিত। সুতরাং সমকৌণিক পরাবৃত্ত লেখচিত্র পাইলে, জুরিনের সূত্র প্রমাণিত হয়। h' বনাম r লেখচিত্র ব্যতীতও h' বনাম $\frac{1}{r}$-এর একটি লেখচিত্রও অঙ্কন করা যাইতে পারে। সেক্ষেত্রে লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে।

হিসাব (Calculation) :

সারণী—5 হইতে গড় $(h' \times r)$-এর মান সমীকরণ (3·10b) এ বসাইলে, T-এর মান পাওয়া যাইবে। আবার h' বনাম r-এর লেখচিত্রের উপর যে কোন একটি



চিত্র 3.19 : $(h'-r)$ ও $(h'-1/r)$ এর লেখচিত্র

বিন্দু P লইয়া (চিত্র—3.19) সেই বিন্দুর ভুজ ও কোটির মান হইতে h' ও r-এর মান লইয়াও T-এর মান পাওয়া যায়।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) যেহেতু তরলের পৃষ্ঠটান, তরলের উষ্ণতার উপর বিশেষভাবে নির্ভরশীল, সেজন্য পরীক্ষার পূর্বে ও পরে তরলের উষ্ণতা মাপিয়া উহার গড় উষ্ণতা (t°C) নির্ণয় করা উচিত।

(ii) যে নল হইতে কৈশিক নলগুলি তৈয়ারী করা হয়, সেই নলটি বিশেষভাবে পরিষ্কার করিয়া তৈলমুক্ত করা উচিত।

(iii) কৈশিক নলের যে অংশ পর্যন্ত তরলের উচ্চতা উঠে, ঠিক সেস্থানে নলটি কাটিয়া, উহার ব্যাসার্ধ মাপা উচিত।

(iv) কৈশিক নলগুলিকে উল্লম্বভাবে স্থাপনা করা উচিত।

(v) কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ এবং তরলের উচ্চতা খুব কম হয় বলিয়া, এই রাশিগুলি খুব সতর্কতার সহিত পরিমাপ করা উচিত।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ তরলের পৃষ্ঠটান ও সংস্পর্শ কোণ কাহাকে বলে ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক হইতে সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য]।

প্রঃ পৃষ্ঠটানের সহিত উষ্ণতার কি সম্পর্ক ?

উঃ তরলের উষ্ণতাবৃদ্ধিতে উহার পৃষ্ঠটানের মান কমে। সংকট উষ্ণতায় (critical temperature) পৃষ্ঠটানের মান শূন্য হয়।

প্রঃ তরলের সংস্পৃষ্ট মাধ্যমের উপর পৃষ্ঠটান কি নির্ভর করে ?

উঃ হাঁ, জলের সংস্পর্শে তেল থাকিলে, জলের পৃষ্ঠটানের মান কমিয়া যায়।

প্রঃ সাধারণ জল ও কাঁচের মধ্যে সংস্পর্শ কোণ কত ? পারদের ক্ষেত্রেই বা কত ?

উঃ জল-কাঁচের ক্ষেত্রে সংস্পর্শ কোণ $=18°$ এবং পারদ-কাঁচের ক্ষেত্রে উহা প্রায় $138°$।

প্রঃ সব তরল কি কৈশিক নলের ভিতর উঁচুতে উঠিয়া যায় ?

উঃ না, যেসব তরল কৈশিক নলকে সিক্ত করে, তাহারা উঠিয়া যায় (যেমন কাঁচ-জল) আবার যাহারা সিক্ত করে না, তাহারা কৈশিক নলে নীচে নামিয়া যায় (যেমন, কাঁচ-পারদ)।

প্রঃ সকল তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয়ের জন্য কি এই পদ্ধতি অবলম্বন করা যায় ?

উঃ না, উদ্বায়ী তরলের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি প্রযোজ্য নয়।

প্রঃ তরল কৈশিক নলে কেন উঠে এবং আসঞ্জন-বল (adhesive force) এবং সংসক্তি-বল (cohesive force) কাহাকে বলে ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

3.11 তরলের সান্দ্রতাঙ্ক নির্ণয় (উহাকে কৈশিক নলের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করাইয়া) (Determination of coefficient of viscosity of a liquid by its flow through a capillary tube)

মূলনীতি (Theory) : একটি কৈশিক নলের ভিতর দিয়া যখন কোন তরল নলের অক্ষের সমান্তরালে প্রবাহিত হয় (streamline motion), তখন, এই প্রবাহ বজায় রাখিবার জন্য যদি নলের দুইপ্রান্তে চাপের পার্থক্য P হয় ; নলের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস যদি যথাক্রমে l ও r হয়, এবং যদি নলের মধ্য দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে V আয়তন তরল প্রবাহিত হয়, তাহা হইলে, এই আয়তন

$$V=\frac{\pi P r^4}{8 l \eta}$$ যখন η তরলের সান্দ্রতাগুণাঙ্ক

$$\text{বা, } \eta=\frac{\pi P r^4}{8 l V} \quad \cdots \quad (3.11\ a)$$

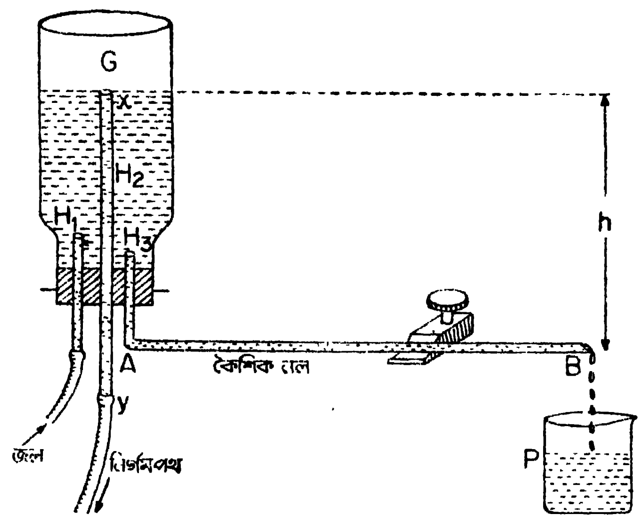
সুতরাং কৈশিক নলের মধ্য দিয়া প্রবাহমান তরলের প্রবাহবেগ, নলের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস এবং উহার দুইপ্রান্তের মধ্যে চাপের পার্থক্যের পরিমাণ জানা থাকিলে, ঐ তরলের সান্দ্রতাগুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

এই সমীকরণকে "পয়েসিউলিস্ সমীকরণ" (Poiseuill's Equation) বলে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পয়েসিউলিস্ যন্ত্র ; ক্যাথিটোমিটার ; থার্মোমিটার ; স্কেল ; পারদ ; তুলাযন্ত্র ; বিকার ইত্যাদি।

পয়েসিউলিস্ যন্ত্রে একটি বড় কাচের পাত্র (*G*) থাকে, যাহার উপরের মুখ খোলা কিন্তু নীচে রাবারের ছিপি সাহায্যে তিনটি ছিদ্র থাকে (H_1, H_2, H_3)। ইহার একটি দিয়া (H_1) কাচের পাত্রে প্রবেশ করানো হয় (চিত্র 3.20), দ্বিতীয়টির দ্বারা একটি সরু দুমুখ খোলা নল ঢুকানো থাকে (xy)। এই নল দ্বারা পাত্র হইতে একটি নির্দিষ্ট উচ্চতার বেশী তরল উঠিলে, তাহা বাহির হইয়া যাইতে পারে। তৃতীয় ছিদ্রে একটি সমকোণে বাঁকানো কাচের নল (*AB*) ঢুকানো থাকে, যাহাই



চিত্র 3.20 : পয়েসিউলিস-এর পদ্ধতি

পরীক্ষাধীন কৈশিক নল। এই নলের মধ্য দিয়াই পরীক্ষাধীন তরলটি প্রবাহিত হয়। *G* পাত্রে তরলের উচ্চতা, *AB* নলের খোলামুখ (*B*) অপেক্ষা কিছু উঁচুতে রাখা হয়, যাহার ফলে *AB* নলের *A* প্রান্তে চাপ *B* প্রান্তে চাপের অপেক্ষা বেশী হয় এবং ফলে *AB* কৈশিক নলের মধ্য দিয়া তরল প্রবাহিত হইয়া *B* প্রান্ত দ্বারা বাহির হয় এবং একটি পাত্রে (*P*) সংগৃহীত হয়। পাত্র *P*-তে একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া পরীক্ষাকালে তরলের উচ্চতা মাপা যায়।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure) :

(i) কৈশিক নল (*AB*) লইয়া উহার দৈর্ঘ্য একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে অন্ততঃ তিনবার মাপিয়া উহার গড় দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয় করা হইল।

(ii) এই নলের (AB) ব্যাস (r) নির্ণয় করার জন্য, ঐ নলটির এক প্রান্ত একটি বিকারে রাখা পারদের মধ্যে ডুবানো হইল। অপর প্রান্তে ফুঁ দিয়া টানিলে কিছু পারদ ঐ কৈশিক নলের মধ্যে ঢুকিয়া যাইবে। এই পারদদৈর্ঘ্যের (নলের ভিতরস্থ) পরিমাপ একটি স্কেলের সাহায্যে লওয়া হইল। পারদদৈর্ঘ্যকে নলের বিভিন্ন স্থানে সরাইয়া (অন্তত তিনবার) প্রত্যেক স্থানে উহার দৈর্ঘ্য মাপা হইল। মনে করা যাক, যে এই গড় দৈর্ঘ্যের মান L।

(iii) এইবার নল হইতে ঐ পারদদৈর্ঘ্যকে একটি ক্রুসিবেলে (crucible) লইয়া, তুলাযন্ত্রের সাহায্যে ঐ পারদটুকুর প্রকৃত ভর (m) নির্ণয় করা হইল। এখন যদি কৈশিক নলের আভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ r হয়, তাহা হইলে পারদস্তম্ভের আয়তন হইবে $\pi r^2 L$ এবং উহার ভর (m) হইবে $m=\pi r^2 L\rho$ যখন ρ হইল পারদের ঘনত্ব।

সুতরাং $m=\pi r^2 L\times\rho$ ... (3.11 b)

(iv) একটি ক্যাথিটোমিটার যন্ত্রকে কিছুদূর হইতে ফোকাস করিয়া, প্রথমে উহাকে G পাত্রে তরল তলের (উপরিতল) উপর উহার ক্রস্‌ওয়্যার রাখিয়া, ক্যাথিটোমিটার স্কেল হইতে পাঠ লওয়া হইল। পরে ক্যাথিটোমিটারের টেলিস্কোপকে ঘুরাইয়া একই অবস্থায়, উহাকে AB নলের খোলামুখ B বিন্দুতে ফোকাস করিয়া পাঠ লওয়া হইল। এই দুই পাঠের ব্যবধান হইতে, AB নলের অক্ষ হইতে G পাত্রে তরলের উচ্চতার (h) মান পাওয়া যাইবে। সুতরাং যে চাপের জন্য কৈশিক নলে তরল প্রবাহিত হয়, তাহার মান হইবে $P=h\rho' g$ যখন ρ' হইল পরীক্ষাগারে উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব।

(v) নির্গত তরলের পরিমাপ ও প্রবাহবেগ নির্ণয় করিবার জন্য একটি মাপক চোঙকে (C—measuring cylinder) AB নলের B প্রান্তের নীচে ধরিয়া, একটি ষ্টপ ওয়াচের সাহায্যে সময় দেখিয়া, নির্দিষ্ট সময়ে (t) কতখানি তরল AB নলের প্রান্ত হইতে নির্গত হইল, তাহা মাপক চোঙের মধ্যে তরলটুকু ধরিয়া পরিমাপ করা হইল। ইহা হইতে তরলের প্রবাহবেগ (V) নির্ণয় করা যাইবে।

(vi) যে চাপের জন্য (P) তরল কৈশিক নলে প্রবাহিত হইতেছে, তাহার মান পরিবর্তন করিয়া, অর্থাৎ G পাত্রে তরলের উপরিতলের উচ্চতা কম-বেশী করিয়া (h পরিবর্তন করিয়া) P-এর বিভিন্ন মান করা হইল এবং প্রতি চাপের জন্য তরল নির্গমনের বেগ (V) মাপা হইল।

(vii) এখন সব রাশিগুলি (সমীকরণ 3·11·a-এর) জানা থাকায় ঐ সমীকরণ হইতে সান্দ্রতাগুণাঙ্কের (η) মান নির্ণয় করা যায়।

(viii) গাণিতিক হিসাব না করিয়া একটি লেখচিত্রে h বনাম V লেখচিত্র অঙ্কন করিয়াও η-এর মান নির্ণয় করা যায় (লেখচিত্র অঙ্কন দ্রষ্টব্য)।

ফল (Results) :

কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	নলের দৈর্ঘ্য সেমি	নলের গড় দৈর্ঘ্য (l) সেমি
1	...	...
2	...	...
3	...	...

কৈশিক নলের ব্যাস (r) নির্ণয়

সারণী—2

কৈশিক নলে পারদের দৈর্ঘ্য			বিকারের ভর		পারদের ভর $(m_1 - m_2)$ গ্রাম $= m$	$r^2 = \frac{m}{\pi L_l}$ বর্গসেমি.	r^4 [সেমি]^4
পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দৈর্ঘ্য সেমি	গড় দৈর্ঘ্য L সেমি	শূন্য অবস্থায় (m_1 গ্রাম)	পারদসমেত (m_2 গ্রাম)			
1	...						
2	...	...	...	...	...	...	...
3	..						

ক্যাথিটোমিটারের সাহায্যে চাপের (P) মান নির্ণয়

সারণী—3

ক্যাথিটোমিটারের ভার্নিয়ার ধ্রুবক = ···সেমি.

পরীক্ষাধীন তরলের উষ্ণতা = ···($t^\circ C$)

$t^\circ C$ উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব = ··গ্রাম/সিসি.

পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	G পাত্রে তরলতলের পাঠ			কৈশিক নলে B প্রান্তের পাঠ			তরলের উচ্চতা $h = X_1 \sim X_2$ সেমি	যে চাপের জন্য (P) তরল প্রবাহিত হইতেছে $P = h\rho' g$ ডাইন/বর্গসেমি
	মূল স্কেলের পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার পাঠ (V) সেমি	মোট পাঠ $X_1 = M+V$ সেমি	মূল স্কেলের পাঠ (M) সেমি	ভার্নিয়ার পাঠ (V) সেমি	মোট পাঠ $X_2 = M+V$ সেমি		
1	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...	...	...

তরলের প্রবাহবেগ (V) নির্ণয়

সারণী—4

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	তরল উচ্চতার মান (h) সেমি	সংগৃহীত তরলের আয়তন (V') সিসি	সংগ্রহের সময় (t) সেকেণ্ড	V'-এর গড় মান সিসি	এক সেকেণ্ডে প্রবাহিত তরলের আয়তন অর্থাৎ তরলের প্রবাহ বেগ (V) সিসি/সেকেণ্ড $V = V'/t$
		..	...	...	...
1	...	...	...		
		...	...		
		...	..		
2	...	...	...	...	...
...		...	...		
...		...	...		
5	...	...	...	...	...
		...	...		

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (3·11 *a*) হইতে

সান্দ্রতাগুণাঙ্ক $\eta = \frac{\pi P r^4}{8 l V}$

সুতরাং এই সমীকরণে ডানদিকের সব রাশিগুলির পরিমিত মান বসাইয়া η-এর মান পাওয়া যাইবে।

সুতরাং $\eta = \cdot\cdot$ গ্রাম/সেমি/সেকেণ্ড
($t^\circ C$ উষ্ণতায়) বা পয়েজ

লেখচিত্র অঙ্কন (Drawing of graph) :

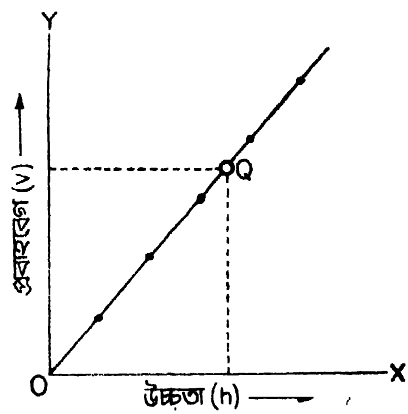
সমীকরণ (3·11 *a*) হইতে কোন তরলের ক্ষেত্রে

$P \propto V$ যেহেতু নির্দিষ্ট উষ্ণতায় η এর মান ধ্রুবক বা $h\eta g \propto V$; বা $h \propto V$

সুতরাং যদি লেখচিত্রে h (তরল উচ্চতা) বনাম প্রবাহবেগ (V)-এর একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায়, তাহা হইলে ঐ লেখচিত্র মূলবিন্দুগামী (0, 0) একটি সরলরেখা হইবে (চিত্র-3.21)। ঐ লেখচিত্র হইতে যে কোন একটি বিন্দু (Q) লইয়া, উহার ভুজ ও কোটির মান হইতে h ও V-এর মান লইয়া সমীকরণ (3·11 *a*)-তে বসাইলে η-এর মান পাওয়া যাইবে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) এই পরীক্ষায় সর্বাধিক সতর্ক হওয়া উচিত কৈশিক নলের ব্যাস (r) পরিমাপের সময়ে। যেহেতু উহা চার শক্তিতে (fourth power) আছে, সেজন্য ব্যাস নির্ণয়ে সামান্য ভুল, পরীক্ষালব্ধ ফলে প্রচুর ভুলের সৃষ্টি করিবে।



চিত্র 3.21 : ($h - V$) লেখচিত্র

(ii) চাপের সীমা এমন রাখিতে হইবে যেন, তরলপ্রবাহ নলের অক্ষরেখায় সমান্তরাল (streamline motion) হয়।

(iii) নলের B প্রান্তের মুখে সামান্য ভেসলিন্ লাগাইয়া দেওয়া উচিত যাহাতে তরল নলের গাত্র বরাবর পিছনের দিকে চলিয়া না যায়।

(iv) কৈশিক নলটি সমব্যাসসম্পন্ন (uniform bore) হওয়া একান্ত প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ তরলের সান্দ্রতাঙ্ক কাহাকে বলে এবং উহার জাতি (dimens'on) ও একক কি?

উঃ পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য; জাতি $ML^{-1}T^{-1}$ এবং একক গ্রাম/.সমি/.সেকেণ্ড বা 'পয়েজ'।

প্রঃ সরলরৈখিক গতি (streamline motion) ও অস্থির গতির (turbulent moti.n) মধ্যে পার্থক্য কি?

উঃ সরলরৈখিক গতিতে কণাগুলির গতিপথ পরস্পর সমান্তরাল থাকে কিন্তু অস্থির গতিতে তাহা থাকেনা। গতিপথ আঁকাবাঁকা হয়।

প্রঃ নলের ব্যাস বেশী বড় হইলে ক্ষতি কি?

উঃ ব্যাস বড় হইলে গতিপথ বা প্রবাহ সরলরৈখিক (streamline) হইবে না।

প্রঃ উষ্ণতাবৃদ্ধিতে সান্দ্রতাঙ্ক কি পরিবর্তিত হয়?

উঃ উষ্ণতাবৃদ্ধিতে তরলের সান্দ্রতাঙ্ক কমে কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে বৃদ্ধি পায়।

প্রঃ নলের প্রান্তে চাপ কি পরীক্ষাকালে একই থাকা প্রয়োজন?

উঃ হ্যাঁ, নচেৎ পরীক্ষাকালে প্রবাহবেগ পরিবর্তিত হইয়া যাইবে।

প্রঃ নলটি কি অনুভূমিক থাকা প্রয়োজন?

উঃ হ্যাঁ, সেক্ষেত্রে অভিকর্ষজ ত্বরণজনিত প্রভাব হইতে মুক্তি পাওয়া যায়।

প্রঃ নলের মধ্যে কি সর্বত্র তরলের গতিবেগ সমান?

উঃ না; নলের অক্ষরেখা বরাবর ইহা চরম (maximum) এবং ব্যাস বরাবর বাহিরের দিকে ক্রমশঃ গতিবেগ কমিয়া যায়।

প্রঃ এই পরীক্ষায় কি কোন অনুমান (assumptions) ধরিয়া লওয়া হয়?

উঃ হ্যাঁ, প্রথমতঃ ধরিয়া লওয়া হয় যে, নলের অক্ষ বরাবর কোন ত্বরণ নাই—যাহা ঠিক নয়। দ্বিতীয়তঃ ধরিয়া লওয়া হয় চাপের পার্থক্যজনিত সমস্ত বলই সান্দ্রতাজনিত টানকে (viscous drag) অতিক্রম করিতে ব্যয়িত হয় যাহা ঠিক নয়। ঐ বলের কিছুটা অংশ তরলকে গতিশক্তি দেয়।

প্রঃ h বনাম V এর লেখচিত্র কেমন হয়?

উঃ সাধারণতঃ h-এর অল্প মানের জন্য ঐ লেখচিত্র একটি সরলরেখা হয় কিন্তু h-এর মান বেশী হইলে, তরলের গতি অস্থির (turbulent) হয় এবং লেখচিত্র সরলরেখা হইতে বিচ্যুত হয়।

প্রঃ এই পদ্ধতি কি সকল তরলের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য?

উঃ কম সান্দ্রতাবিশিষ্ট তরলের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি প্রযোজ্য। বেশী সান্দ্রতাবিশিষ্ট তরলের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি সুবিধাজনক নয়। সেক্ষেত্রে ষ্টোকস্-এর পদ্ধতি অবলম্বন করা বাঞ্ছনীয়।

প্রঃ সান্দ্রতা ও ঘর্ষণের মধ্যে পার্থক্য কি?

উঃ যদিও উভয়ের মধ্যে সাদৃশ্য আছে তথাপি উভয়ের মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য আছে। প্রথমতঃ স্থির তরলের ক্ষেত্রে সান্দ্রতার কোন ফল নাই যদিও স্থির অবস্থাতেও ঘর্ষণ কাজ করে। আবার, আপেক্ষিক গতির উপর সান্দ্রতা নির্ভর করে কিন্তু ঘর্ষণের সহিত তরলের আপেক্ষিক গতির কোন সম্পর্ক নাই। আর সান্দ্রতাজনিত বল, তরলতলের আকার ও ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে কিন্তু ঘর্ষণ সংস্পর্শের আয়তনাকারের উপর নির্ভর করে না।

প্রঃ প্রকৃতিতে সান্দ্রতার কোন উদাহরণ আছে কি?

উঃ (i) নদীর প্রবাহবেগ কূল অপেক্ষা মধ্যখানে অনেক বেশী।

(ii) বৃষ্টিফোঁটা বায়ুর সান্দ্রতার জন্য একটি নির্দিষ্ট গতিবেগের বেশী গতিবেগ পায় না। ফলে ঐ সীমিত গতিবেগ লইয়া পৃথিবীতে আসিয়া পড়ে।

তাপবিজ্ঞান সংক্রান্ত পরীক্ষাসমূহ
(Experiments on Heat)

4.1 ভার্নিয়ার অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the coefficient of linear expansion of a solid metallic rod with the help of a vernier travelling microscope)

মূলনীতি (Theory) :

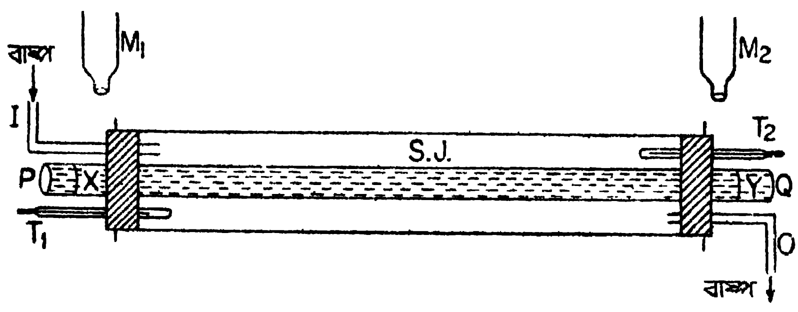
কোন কঠিন দণ্ডের একক দৈর্ঘ্যের উষ্ণতা 1° সেন্টিগ্রেড বৃদ্ধি করিলে উহার যে পরিমাণ দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হয়, তাহাই ঐ ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাঙ্ক (α)। এখন কোন ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্য যদি t_1 সেন্টিগ্রেড ও t_2° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় যথাক্রমে l_1 ও l_2 সেমি হয়, তাহা হইলে, ঐ উষ্ণতার মধ্যে ধাতবদণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য প্রসারণগুণাঙ্ক হইবে

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 (t_2 - t_1)} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড} \quad \cdots \quad (4.1\,a)$$

এখানে $(l_2 - l_1)$ দণ্ডটির উষ্ণতা বৃদ্ধিতে (t_1° হইতে t_2° সেন্টিগ্রেড)• দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি এবং উহা একটি সঞ্চরণশীল ভার্নিয়ার মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে মাপা হয়।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পরীক্ষাধীন ধাতব দণ্ড; দুইটি সঞ্চরণশীল ভার্নিয়ার মাইক্রোস্কোপ, দুইটি থার্মোমিটার; বাষ্প জ্যাকেট, মিটার স্কেল।



চিত্র 4.1

প্রায় এক মিটার লম্বা একটি ধাতব দণ্ডকে (PQ) একটি মোটা বাষ্প জ্যাকেটের নলের (SJ) মধ্যে রাখিয়া ঐ জ্যাকেটের দুই মুখ রবারের ছিপি দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। এই ছিপিদ্বয়ের মধ্য দিয়া দুইটি নলের (I ও O) সাহায্যে জ্যাকেটের ভিতর বাষ্প প্রবেশ করিতে ও বাহির হইতে পারে (চিত্র-4.1)। এই বাষ্পপ্রবাহের

ফলে দণ্ডটি উত্তপ্ত হয় এবং উহার উষ্ণতা মাপিবার জন্ম দুইটি থার্মোমিটার (T_1, T_2) জ্যাকেটের ভিতর লাগানো থাকে। দণ্ডের দুই প্রান্তের কাছে দুইটি সরু দাগ (x ও y) থাকে এবং দুইটি সঞ্চরণশীল ভার্নিয়ার মাইক্রোস্কোপ (M_1 ও M_2) ঐ দুইটি দাগের ঠিক উপরে থাকে। ইহাদের সাহায্যে ঐ দাগ দুইটিকে ফোকাস করা যায়।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure)

(i) প্রথমে একটি স্কেলের সাহায্যে দণ্ডের দুইটি সরু দাগের (x, y) মধ্যকার দূরত্ব (l_1) নির্ণয় করা হইল। এই দৈর্ঘ্য ঘরের উষ্ণতায় নির্ণয় করা হইল। উহাই প্রাথমিক উষ্ণতা (t_1°C)। এই উষ্ণতা দুইটি থার্মোমিটারের পাঠের গড় হইতে নির্ণয় করা হইল।

(ii) বাষ্প জ্যাকেটের (SJ) মধ্য দিয়া এবার বাষ্প পাঠান শুরু করা হইল। বাষ্প পাঠাইবার পূর্বে ভার্নিয়ার মাইক্রোস্কোপ দুইটিকে দণ্ডের উপর দেওয়া দাগ দুইটির উপর আনিয়া উহাদের ক্রস্‌ওয়্যারকে ফোকাস করিয়া, মাইক্রোস্কোপের পাঠ লওয়া হইল (X_1 ও X_2)।

(iii) বাষ্প জ্যাকেটের মধ্য দিয়া বাষ্প পাঠাইতে থাকিলে, দণ্ডটি উত্তপ্ত হইতে থাকিবে এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। ফলে, উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ ঘটিবে। দণ্ডটি বাষ্পের উষ্ণতা প্রাপ্ত হইলে, উহার উষ্ণতা স্থির হইবে এবং যখন দেখা যাইবে যে, থার্মোমিটার দুইটি প্রায় 10 মিনিট একইভাবে একই উষ্ণতা দেখাইতেছে, তখন বুঝিতে হইবে যে, দণ্ডটির উষ্ণতা স্থির (constant) হইয়াছে, দুইটি থার্মোমিটারের পাঠ হইতে গড় উষ্ণতা (t_2°C) নির্ণয় করা হইল।

(iv) মাইক্রোস্কোপে দেখা যাইবে যে, দৈর্ঘ্য প্রসারণের ফলে দণ্ডের উপরকার দাগ দুইটি ক্রসওয়্যার হইতে সরিয়া গিয়াছে। মাইক্রোস্কোপকে সাবধানে সরাইয়া, পুনরায় উহাদের ক্রসওয়্যারকে দাগ দুইটির উপর ফোকাস করা হইল এবং উহাদের পাঠ লওয়া হইল। মনে করা যাক, যে এই পাঠদ্বয় যথাক্রমে Y_1 ও Y_2।

(v) সুতরাং উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দণ্ডের মোট প্রসারণের পরিমাণ হইবে $(X_1 \sim Y_1)+(X_2 \sim Y_2)$ এবং ইহাই সমীকরণ (4·1a) এর $(l_2 - l_1)$ এর সমান।

(vi) দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য (l_1), প্রাথমিক উষ্ণতা (t_1°C) ও চূড়ান্ত উষ্ণতা (t_2°C), দৈর্ঘ্য প্রসারণ ($l_2 - l_1$) প্রভৃতি সব রাশিগুলি এখন জানা থাকায়, দণ্ডের ধাতবের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (α), সমীকরণ (4.1a) হইতে নির্ণয় করা যাইবে।

ফল (Results) :

দণ্ডের দৈর্ঘ্য নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দণ্ডের দৈর্ঘ্য (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য (সেমি)
1	...	...
2	...	...
3	...	...

ভার্নিয়ার অণুবীক্ষণের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয়

অনুভূমিক স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ···সেমি.
ভার্নিয়ারের মোট ঘরসংখ্যা = সেমি.
ভার্নিয়ার ধ্রুবক = ···সেমি.

হিসাব (Calculation) :

থার্মোমিটারের দ্বারা প্রদর্শিত উষ্ণতাবৃদ্ধি $=(t_2-t_1)^\circ C$
দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ $=(l_2-l_1)=(X_1\sim Y_1)+(X_2\sim Y_2)$
দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য $=l_1$ সেমি.
∴ দণ্ডের ধাতবের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}$$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) অণুবীক্ষণ যন্ত্রের পিছট ভ্রম (backlash error) যাহাতে না ঘটে, সেবিষয়ে সতর্ক থাকা প্রয়োজন।

(ii) বাষ্প প্রবেশ করাইবার সময়ে দণ্ডটি বা সমগ্র পরীক্ষাব্যবস্থাটি যেন কোনরূপে নড়িয়া না যায়, সে বিষয়ে লক্ষ্য রাখিতে হইবে।

(iii) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটি যেন দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর সরানো যায়।

(iv) বাষ্প উৎপাদনকারী পাত্রে (boiler) যেন যথেষ্ট পরিমাণ জল থাকে। পরীক্ষাকালে যেন জল শেষ না হইয়া যায়।

উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরিমাপ নির্ণয়

সারণী—2

সময় (মিনিট)	উষ্ণতার পাঠ			অণুবীক্ষণ স্কেলের পাঠ						দণ্ডের বামদিকের প্রসারণ $(X_1 \sim Y_1)$ সেমি.	দণ্ডের ডানদিকের প্রসারণ $(X_2 \sim Y_2)$ সেমি.	দণ্ডের মোট প্রসারণ $(l_2 - l_1)$ $= (X_1 \sim Y_1) + (X_2 \sim Y_2)$
	বামপ্রান্তের থার্মোমিটার T_1 (°C)	ডানপ্রান্তের থার্মোমিটার T_2 (°C)	গড় উষ্ণতা (°C)	বামপ্রান্তের			ডানপ্রান্তের					
				মূল স্কেল পাঠ (সেমি.)	ভার্নিয়ার পাঠের মান (সেমি.)	মোট পাঠ (সেমি.)	মূল স্কেল পাঠ (সেমি.)	ভার্নিয়ার পাঠের মান (সেমি.)	মোট পাঠ (সেমি.)			
0	...	...		...	...	...	...	...	...			
বাষ্প	...	...	...	...	...	... (X_1)	...	...	... (X_2)			
প্রবেশের পূর্বে	...	...	t_1°C	...	...	...	...	...	...			
5	...	...								...	...	...
10	...	...										সেমি.
15	...	...										
						...			...			
20	...	...	t_2°C			... (Y_1)			... (Y_2)			
						...			...			

প্রশ্নোত্তর

প্র: দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের একক কি? উহা কি দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভরশীল?

উ: উহার একক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড বা ফারেনহাইট। ফারেনহাইট স্কেলে, ∝-এর মান সেন্টিগ্রেডে প্রাপ্ত মানের $\frac{5}{9}$ অংশ হইবে। যেহেতু ∝-এর মান দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত সেজন্য উহা দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে না।

প্র: দণ্ডটি ফাঁপা বা ভরাট হইলে কি ∝-এর মানের কোন পরিবর্তন হইবে?

উ: না, দণ্ড ফাঁপা বা ভরাট যাহাই হউক না কেন, ধাতুর ∝-এর মান একই থাকিবে।

প্র: যে কোন উষ্ণতা হইতে 1°C বাড়াইলে কি ∝-এর মান একই হইবে?

উ: তাত্ত্বিক দিক হইতে যদিও এক হওয়ার কথা নয়, কিন্তু ব্যবহারিক ক্ষেত্রে মান প্রায় সর্বত্রই 1°C উষ্ণতাবৃদ্ধিতে ∝-এর মান একই হয়।

প্র: নির্ণেয় ∝ এর মানকে কেন গড় প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে?

উ: যেহেতু 1°C উষ্ণতা পার্থক্য না মাপিয়া (t_2-t_1)°C এর জন্য উষ্ণতা মাপিয়া গড় 1°C-এর জন্য উহার মান নির্ণয় করা হইতেছে।

প্র: দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্যের উপর কি ∝-এর মান নির্ভর করিবে?

উ: না, যেহেতু সংজ্ঞানুযায়ী ∝-এর মান প্রতি একক দৈর্ঘ্যের প্রসারণের উপর নির্ভরশীল।

4.2 অপটিক্যাল লিভার যন্ত্রের সাহায্যে ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the coefficient of linear expansion of a solid metallic rod by using an optical lever)

মূলনীতি (Theory):

সংজ্ঞানুযায়ী কোনো দণ্ডের একক দৈর্ঘ্যের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিলে উহার যে পরিমাণ দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটে, তাহাই ঐ দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (∝)। সুতরাং, কোন দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য যদি l_1 সেমি হয় এবং উহার উষ্ণতা যদি t_1°C হয়, তাহা হইলে, t_2°C উষ্ণতায় ঐ দণ্ডটিকে উত্তপ্ত করিলে যদি উহার দৈর্ঘ্য l_2 সেমি হয়, উষ্ণতাবৃদ্ধিতে উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ হইবে (l_2-l_1) সেমি এবং উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (∝) হইবে

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে} \qquad \cdots \qquad (4.2a)$$

এই পদ্ধতিতে দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরিমাণ মাপা হয় একটি অপটিক্যাল লিভারের সাহায্যে।

অপটিক্যাল লিভারের তত্ত্বানুযায়ী (চিত্র-4.3) যদি দণ্ডের l সেমি $(=l_2-l_1)$ দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির জন্য অপটিক্যাল লিভারের P সেমি দৈর্ঘ্যের বাহু β কোণ পরিমাণ ঘুরিয়া

যায়, তাহা হইলে লিভারের সংলগ্ন দর্পণটিও β কোণ পরিমাণ ঘুরিয়া যাইবে। সুতরাং তখন

$$\beta=\frac{l}{p} \qquad \cdots \quad (4{\cdot}2b)$$

এখন, একটি মিটার স্কেল যদি দর্পণ হইতে D সেমি দূরে থাকে তখন দর্পণের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত অবস্থানে উহার মধ্যে স্কেলের যে দুইবার প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে, তাহা 2β কোণ পরিমাণ ঘুরিয়া যাইবে। একটি টেলিস্কোপের সাহায্যে যদি দর্পণের এই দুই অবস্থানে স্কেলের পাঠের মধ্যে রৈখিক সরণ d সেমি হয়, তাহা হইলে $2\beta=d/D \quad \cdots \quad (4{\cdot}2c)$

সুতরাং, সমীকরণ $(4{\cdot}2b)$ ও $(4{\cdot}2c)$ হইতে

$$\beta=\frac{l}{p}=\frac{d}{2D} \text{ বা, } l=\frac{p.d}{2D} \qquad \cdots \quad (4{\cdot}2d)$$

এখন, $l=l_2-l_1=$ দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরিমাণ

সুতরাং, সমীকরণ $(4{\cdot}2a)$ হইতে,

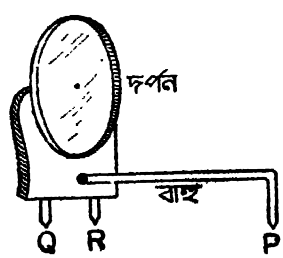
$$\alpha=\frac{pd}{2l_1D(t_2-t_1)} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে} \qquad \cdots \quad (4{\cdot}2e)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

অপটিক্যাল লিভার; থার্মোমিটার; স্কেল; টেলিস্কোপ; বাষ্প উৎপাদনের জন্য বয়লার ব্যবস্থা, টেবিল ল্যাম্প ইত্যাদি।

অপটিক্যাল লিভার :

ইহা একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজাকৃতির ফ্রেম যাহার প্রান্তে তিনটি ছোট দণ্ড (P, Q, R) থাকে (চিত্র-4.2)। এই দণ্ড তিনটির প্রান্তবিন্দু খুব সূক্ষ্ম এবং এই

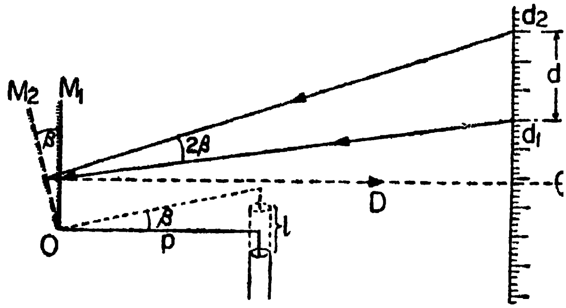


চিত্র 4.2 : অপটিক্যাল লিভার

প্রান্তবিন্দুগুলি যোগ করিলে একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ হইবে। ত্রিভুজাকৃতি ফ্রেমের উপর একটি ছোট সমতল দর্পণ (M) আটকানো থাকে। এই দর্পণটি একটি

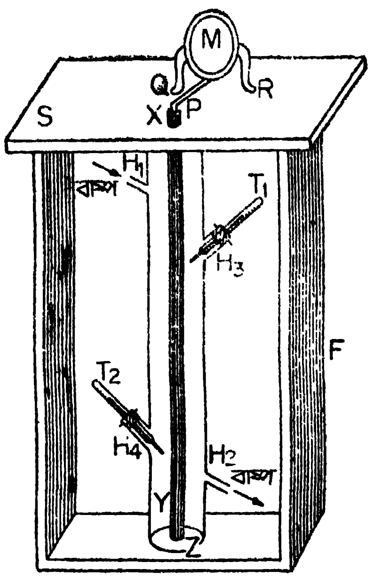
অনুভূমিক অক্ষরেখা বরাবর ঘুরিতে পারে। পরীক্ষার সময়ে ত্রিভুজাকৃতি ফ্রেমের শীর্ষপ্রান্তের দণ্ডটিকে (P) পরীক্ষাধীন দণ্ডের উপর রাখা হয় এবং ত্রিভুজের ভূমিসংলগ্ন প্রান্তবিন্দুদ্বয়কে (Q ও R) একটি কাচের পাতের উপর রাখা হয়।

মূলযন্ত্র :



চিত্র 4.3 : অপটিক্যাল লিভারের কার্যক্রম

মূলযন্ত্রে পরীক্ষাধীন ধাতব দণ্ডটি (প্রায় 1 মিটার লম্বা XY) একটি বাষ্প-জ্যাকেটের (SJ) মধ্যে রাখিয়া একটি ফ্রেমের (F) ভিতর আটকাইয়া রাখা হয় (চিত্র 4.4)। এই ফ্রেমের নীচের দিকে একটি পাতকে (Z) স্থিরভাবে আটকাইয়া



চিত্র 4.4 : পুলিন্জারের যন্ত্র

রাখা হয়, যাহার উপর দণ্ডের নিম্নপ্রান্তটিকে রাখা হয়। ফ্রেমের উপরদিকে অনুভূমিক তলে একটি ছিদ্রযুক্ত কাচের পাত (S) আছে যাহার মধ্য দিয়া দণ্ডের

উপরিভাগকে বাহির করিয়া রাখা হয়। জ্যাকেটের গায়ে চারিটি ছিদ্র থাকে। উপরের ছিদ্র দিয়া (H_1) বাষ্প প্রবেশ করানো হয় এবং নীচের ছিদ্র দিয়া (H_2) বাষ্পনির্গমের ব্যবস্থা থাকে। মধ্যকার ছিদ্র দুইটির (H_3, H_4) ভিতর দিয়া দুইটি থার্মোমিটার (T_1 ও T_2) প্রবেশ করানো থাকে যাহার সাহায্যে, জ্যাকেটের ভিতরকার উষ্ণতা নির্ণয় করা যায়। অপটিক্যাল লিভারের শীর্ষপ্রান্তের দণ্ডটিকে (P) ঐ ছিদ্রযুক্ত কাচের পাতের (S) উপর রাখা হয়।

এই যন্ত্রটিকে পুলিনজার-এর (Pullinger) যন্ত্র বলা হয়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure):

(i) পরীক্ষাধীন দণ্ডটিকে বাহিরে আনিয়া উহার দৈর্ঘ্য একটি স্কেলের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। দণ্ডটিকে পুনরায় জ্যাকেটের ভিতর বসাইয়া দিয়া, ছিদ্র H_3 ও H_4-তে থার্মোমিটার লাগাইয়া দণ্ডের প্রাথমিক গড় উষ্ণতা নির্ণয় করা হইল (t_1°C)।

(ii) অপটিক্যাল লিভারটিকে এবার যথাস্থানে বসাইয়া, টেলিস্কোপ ও স্কেল যথাযথভাবে স্থাপন করা হইল। বাষ্পজ্যাকেটে বাষ্প প্রবেশ করানোর জন্য বয়লারের সহিত রবারনল যুক্ত করিয়া, নলের অপর প্রান্তটি H_1 ছিদ্রের সহিত যুক্ত করা হইল। জ্যাকেটে বাষ্প প্রবেশ করানোর পূর্বে, টেলিস্কোপ ফোকাস করিয়া উহার ক্রসওয়্যারকে স্কেলের একটি পাঠের সহিত মিলাইয়া (দর্পণে প্রতিফলিত প্রতিবিম্বের সাহায্যে) স্কেলের পাঠ লওয়া হইল (d_1 সেমি)।

(iii) এবার, বাষ্প প্রবেশ করানো হইল জ্যাকেটের মধ্যে। ফলে দণ্ডের উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। প্রতি 5 মিনিট অন্তর থার্মোমিটারের পাঠ লওয়া হইবে। পরিশেষে, যখন থার্মোমিটারে উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট স্থানে পৌছিয়া স্থিরীকৃত থাকিবে (t°C) এবং অন্ততঃ যখন 10 মিনিট ঐ পাঠ স্থির থাকিবে, তখন টেলিস্কোপের সাহায্যে স্কেলের নতুন পাঠ (d_2 সেমি) পুনরায় লওয়া হইবে। সুতরাং স্কেলের পাঠের রৈখিক সরণ $d = d_1 \sim d_2$ সেমি.

(iv) বাষ্প জ্যাকেটের সহিত বাষ্পনলের সংযোগ বিচ্ছিন্ন করিয়া, একটি স্কেলের (বা সুতার) সাহায্যে দর্পণ হইতে টেলিস্কোপের স্কেলের দূরত্ব (D) পরিমাপ করা হইল।

(v) একটি কাগজের উপর অপটিক্যাল লিভারের প্রান্তবিন্দুত্রয়ের ছাপ লইয়া, লিভারের বাহুদৈর্ঘ্য (p) নির্ণয় করা হইল।

(vi) সমীকরণ (4·2e)-তে রাশিগুলির মান বসাইয়া দৈর্ঘ্যপ্রসারণগুণাঙ্ক (α)-এর মান নির্ণয় করা হইল।

ফল (Results):

দণ্ডের দৈর্ঘ্য নির্ণয় (l_1)

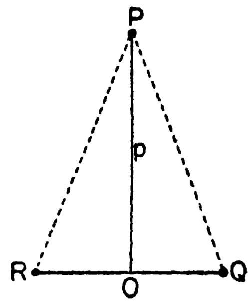
সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দণ্ডের দৈর্ঘ্য (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য (l_1) (সেমি)
1	...	...
2	...	...
3	...	...

দণ্ডের উষ্ণতাবৃদ্ধি ও স্কেলের রৈখিক সরণ নির্ণয় (d)

সারণী—2

	সময় (মিনিট)	উপরের থার্মো-মিটারের (T_1) পাঠ (°C)	নিম্নের থার্মো-মিটারের (T_2) পাঠ (°C)	গড় উষ্ণতা (°C)	টেলিস্কোপ সংলগ্ন স্কেলের পাঠ (সেমি)	স্কেলের পাঠের রৈখিক সরণ $d = d_1 \sim d_2$ সেমি
প্রারম্ভিক অবস্থায় (বাষ্প প্রয়োগের পূর্বে)	0 5	... ...	... ...	... (t_1°)	d_1	
উত্তপ্ত হওয়াকালীন (বাষ্প প্রয়োগ-কালে)	10 15	... ...	... ...		...	...
বাষ্প প্রয়োগের পরে যখন উষ্ণতা প্রায় স্থির হইয়া থাকে	... ...	... ...	... ...	... (t_2°)	d_2	



চিত্র 4.5 : অপটিক্যাল লিভারের বাহুর দৈর্ঘ্য

অপটিক্যাল লিভারের বাহুর দৈর্ঘ্য নির্ণয় (p)

সারণী –3 (চিত্র 4.5 হইতে)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	OP বাহুর দৈর্ঘ্য (সেমি)	OP বাহুর গড়দৈর্ঘ্য (p) (সেমি)
1	...	..
2	.	...
3	...	...

দর্পণ হইতে টেলিস্কোপ স্কেলের দূরত্ব (D) নির্ণয়

সারণী—4

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্কেল হইতে দর্পণের দূরত্ব (সেমি)	গড় দূরত্ব (D) (সেমি)
1	...	...
2	...	...
3	...	...

হিসাব (Calculations) :

সূত্র হইতে (সমীকরণ 4.2e) রাশিগুলির মান বসাইয়া, দৈর্ঘ্য প্রসারণগুণাঙ্ক

$\alpha = \dfrac{p.d}{2l_1 D(t_2 - t_1)}$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) দণ্ডের প্রাথমিক উষ্ণতায় দর্পণের সাহায্যে স্কেলপাঠ ফোকাসিং-এর পর কোনক্রমে যেন দর্পণটি বা টেলিস্কোপসংলগ্ন স্কেলটি না নড়িয়া যায়।

(ii) স্কেলটিকে দর্পণ হইতে বেশ অনেক দূরে রাখিতে হইবে। ইহাতে স্কেলের পাঠের রৈখিক সরণ (d) অনেক বেশী হইবে।

(iii) টেলিস্কোপটিকে যতদূর সম্ভব লিভারের বাহুর সরলরেখা বরাবর রাখিতে হইবে।

(iv) চূড়ান্ত পাঠ লওয়ার পূর্বে উষ্ণতা যেন অন্ততঃ 10 মিনিট স্থির পাঠ দেয়।

(v) বয়লারে যেন যথেষ্ট পরিমাণ জল লওয়া হয় যাহাতে পরীক্ষাকালে যেন বাষ্প সরবরাহ বন্ধ না হইয়া যায়।

প্রশ্নোত্তর

[পরীক্ষা 4.1-এর সব কয়টি প্রশ্নোত্তরের আলোচনা দ্রষ্টব্য]

প্রঃ দর্পণের দূরত্ব যদি স্কেল হইতে কম বা বেশী হয়, তাহা হইলে d-এর মান বা দণ্ডের প্রসারণের পরিমাণ কি কমবেশী হইবে ?

উঃ না, দণ্ডের প্রসারণ গুণাঙ্ক ইহাদের উপর নির্ভর করে না। D-এর মান কমবেশী হইলে d-এর মানও কমবেশী হইবে।

প্রঃ যদি দুইটি অপটিক্যাল লিভার থাকে, যাহার একটির বাহু হ্রস্ব এবং অপরটির বাহু দীর্ঘ, কোনটি এই পরীক্ষায় লওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ ছোট বাহু সম্বলিত লিভারটি। কারণ বাহু (p) ছোট হইলে, স্কেলের রৈখিক সরণ (d) বেশী হইবে এবং তাহাতে ভুলের পরিমাণ হ্রাস পাইবে।

প্রঃ অপটিক্যাল লিভারের ক্ষেত্রে বিবর্ধনের (magnification) মান কত ?

উঃ এক্ষেত্রে বিবর্ধনের মান $\frac{d}{l}$ বা $\frac{2D}{p}$.

4.3 স্থির আয়তনবিশিষ্ট কোন গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্কের মান নির্ণয় (Determination of the pressure coefficient of a gas at constant volume)

মূলনীতি (Theory) :

নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট কোন গ্যাসের উষ্ণতা যদি আয়তন স্থির রাখিয়া, 0° সেন্টিগ্রেড হইতে t° সেন্টিগ্রেডে পরিবর্তন করা হয়, তাহা হইলে উহার চাপের পরিবর্তন হইবে। এখন যদি গ্যাসের চাপ 0° সেন্টিগ্রেড ও t° সেন্টিগ্রেডে যথাক্রমে P_0 ও P_t হয়, তাহা হইলে $P_t = P_0 (1 + \alpha t)$ ··· (4·3a)

যখন, α গ্যাসের স্থির আয়তনে চাপ গুণাঙ্ক

সমীকরণ (4·3 a) হইতে,

$$\alpha = \frac{P_t - P_0}{P_0 \, t} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে} \qquad \cdots (4.3b)$$

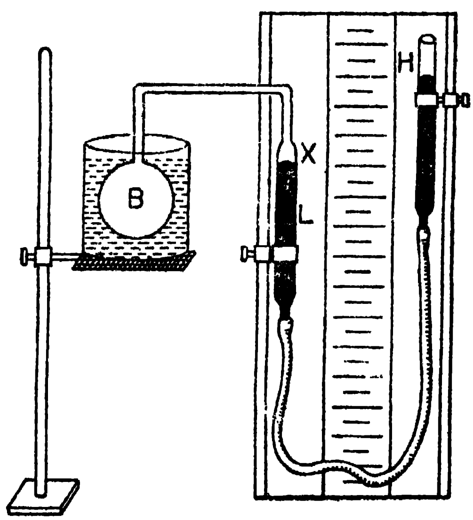
পক্ষান্তরে, 0° সেন্টিগ্রেডে গ্যাসের চাপ জানা না থাকিলেও যদি t_1° ও t_2° সেন্টিগ্রেডে গ্যাসের চাপ যথাক্রমে P_1 ও P_2 হয়, তাহা হইলে, $\alpha = \dfrac{P_2 - P_1}{P_1 t_2 - P_2 t_1}$ .. (4.3c)

স্থির আয়তনের গ্যাসকে বিভিন্ন উষ্ণতায় ($t^\circ C$) রাখিলে, উহার চাপ (P) ক্রমশঃ পরিবর্তিত হইবে। গ্যাসের উষ্ণতাকে ($t^\circ C$) ভুজ ধরিয়া এবং উহার চাপকে (P) কোটি ধরিয়া, ভুজের মূলবিন্দুকে $0^\circ C$ ধরিয়া, একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে সমীকরণ (4·3b) অনুযায়ী, লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে। এই সরল রেখাচিত্রের উপর যে কোন একটি বিন্দু হইতে $t^\circ C$-এ P_t-এর মান নির্ণয় করিয়া এবং লেখচিত্র হইতে P_0-এর মান নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (4.3b) হইতে চাপগুণাঙ্কের (α) মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

জলির থার্মোমিটার, তাপন পাত্র, থার্মোমিটার ইত্যাদি

জলির থার্মোমিটারে একটি কাচের বড় বালব্ (B) থাকে যাহা একটি সরু কৈশিক নলের সাহায্যে আর একটি বড় মোটা নলের (L) সঙ্গে যুক্ত থাকে (চিত্র 4.6)। H আর একটি দু মুখ খোলা মোটা কাচের নল, যাহা পারদপাত্র হিসাবে কাজ করে। H ও L পরস্পর একটি মোটা রবারের নলের সাহায্যে যুক্ত থাকে। H নলটি উপরে নীচে উঠানো-নামানো যায় এবং এইভাবে L নলের ভিতর পারদমাত্রাকে একটি



চিত্র 4.6 : জলির থার্মোমিটার

নির্দিষ্ট দাগ (X) পর্যন্ত রাখা যায়। সমস্ত নল ও বালব্ কাচের তৈয়ারী এবং X-দাগ হইতে H নলের কিয়দংশ পর্যন্ত এবং রবারের নলটি পারদদ্বারা পূর্ণ থাকে। বালব্

B-এর ভিতর পরীক্ষাধীন গ্যাস (বা বায়ু) থাকে। এই বাল্‌ব্‌টিকে একটি বিকারের ভিতর ডুবাইয়া বিকারস্থিত জলকে উষ্ণ করা হয় এবং একটি থার্মোমিটারের সাহায্যে ঐ জলের উষ্ণতা পরিমাপ করা যায়। এই উষ্ণতাই (t° সে) বাল্‌বের ভিতরকার গ্যাসের উষ্ণতা। প্রতিবার পাঠ লওয়ার সময়ে H নলকে উঠানামা করিয়া পারদতলকে X-দাগ পর্যন্ত রাখিলে, বাল্‌ব্‌ B-এর অভ্যন্তরে গ্যাসের আয়তন নির্দিষ্ট থাকে। নলদ্বয় একটি কাঠের ফ্রেমের উপর আটকানো থাকে এবং ফ্রেমের উপরে স্থাপিত একটি স্কেলের সাহায্যে নল দুইটির ভিতরস্থ পারদতলের পাঠ পাওয়া যায়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমেই একটি ব্যারোমিটার হইতে পরীক্ষাগারে বাতাসের চাপ নির্ণয় করা হয়। মনে করা যাক, যে উহার মান π সেমি।

(ii) বাল্‌ব্‌ B-কে একটি জলপূর্ণ বিকারের মধ্যে রাখিয়া, জলের উষ্ণতা মাপা হইল। উহাই বাল্‌বের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের প্রারম্ভিক উষ্ণতা। এই অবস্থায় নল H কে উঠানামা করিয়া, L-নলের ভিতরকার পারদকে X-দাগ পর্যন্ত মিলাইয়া রাখা হইল। এই X-দাগের স্থির অবস্থান (h_1) এবং H-নলের পারদতলের অবস্থান (h_2) স্কেল হইতে পাঠ করা হইল। এই দুই পারদতলের ব্যবধান $(h = h_1 \sim h_2)$ নির্ণয় করা হইল। সুতরাং পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় $(t_1{}^\circ C)$ B-বাল্‌বের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের চাপ হইবে $P = (\pi \pm h)$ সেমি।

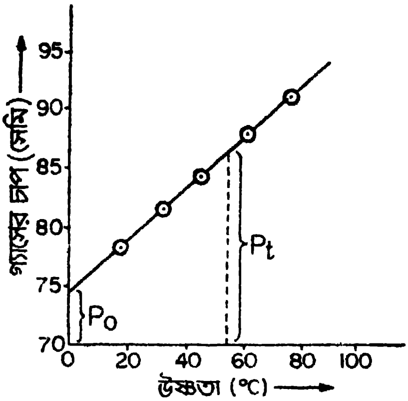
(iii) B-বাল্‌ব যে বিকারের মধ্যে আছে, তাহার ভিতরকার জলকে এবার উত্তপ্ত করা হইতে লাগিল। প্রতি 10° সেন্টিগ্রেড অন্তর পাঠ লইতে হইবে এবং প্রতিবার H নলকে উঠানামা করিয়া, L-নলের ভিতরকার পারদতলকে X-দাগ পর্যন্ত আনিয়া স্থির রাখিতে হইবে এবং প্রতিবার H নলের পারদতল ও X-দাগে পারদতলের মধ্যকার ব্যবধান নির্ণয় করিতে হইবে।

(iv) প্রতিবার পাঠ লওয়ার সময়ে, জলের তাপমাত্রা অন্ততঃ 5 মিনিটব্যাপী যেন স্থির থাকে, এবং প্রতিবার পাঠ লওয়ার সময়ে বিকারস্থিত জলকে বেশ উত্তমরূপে আলোড়িত করা প্রয়োজন।

(v) পরিশেষে, ব্যারোমিটার হইতে বায়ুচাপের মান আর একবার নির্ণয় করিয়া গড় বায়ুচাপের মান (π) লইতে হইবে।

লেখচিত্র অঙ্কন : একটি লেখচিত্রে ভুজ বরাবর উষ্ণতা $({}^\circ C)$ এবং কোটি বরাবর বাল্‌বের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের চাপ (P) প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। উষ্ণতা অক্ষের মূলবিন্দু যেন $O^\circ C$ নির্দেশ করে। লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে (চিত্র-4.7)। এই লেখচিত্র হইতে P_o-এর মান নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (4.3b) হইতে চাপগুণাঙ্ক α-এর মান নির্ণয় করা যায়। ঐ লেখচিত্রের

উপর যে কোন একটি বিন্দু লইয়া তাহার P-এর মান ও সংশ্লিষ্ট উষ্ণতা ($t°C$) লইতে হইবে।



চিত্র 4.7 : উষ্ণতা-চাপ লেখচিত্র

ফল (Results) :

বায়ুর চাপ (π) নির্ণয়

সারণী 1

ব্যারোমিটারের ভার্নিয়ার ধ্রুবক = ...সেমি

পর্যবেক্ষণ	ব্যারোমিটারের				বায়ুর গড় চাপ (π সেমি)
	মূলস্কেল পাঠ (সেমি)	ভার্নিয়ারের মান (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি)	পারদস্তম্ভের উচ্চতা	
পরীক্ষার পূর্বে	... ..	... ...	... ...	... ...	
পরীক্ষার পরে	... ...	... ..	.. ..	... ...	

উষ্ণতা বৃদ্ধিতে গ্যাসের চাপ (P) নির্ণয়

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বিকারের জলের বা গ্যাসের উষ্ণতা (°C)	H নলে পারদতলের পাঠ (h_1) (সেমি)	L নলে X-দাগে পারদতলের পাঠ (সেমি) (h_2)	উভয় পাঠের ব্যবধান ($h = h_1 \sim h_2$) (সেমি)	গ্যাসের চাপ $*P = \pi + h'$ (সেমি)
1	$t_1°$ (ঘরের উষ্ণতা)	...	...	...	...
2	$t_1° + 10°$	...	...	...	...
3	$t_1° + 20°$	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...
5		...	...	...	..
6	...	...	...	...	...

উষ্ণতা-চাপ পাঠ হইতে লেখচিত্র অঙ্কন

সারণী—3

গ্যাসের উষ্ণতা ($t°C$)→	$t_1°C$	$t_2°C$	$t_3°C$	$t_4°C$	$t_5°C$	$t_6°C$
গ্যাসের চাপ (P সেমি)→	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6

হিসাব (calculations) :

লেখচিত্র হইতে P_0-এর মান = ... সেমি

লেখচিত্রের যে কোন একটি বিন্দু (A) হইতে

P_t-এর মান = ... সেমি

A বিন্দুতে উষ্ণতার মান = ... °সেন্টিগ্রেড

* (H নলে পারদতল X-দাগের উপরে থাকিলে (+) হইবে ; নীচে থাকিলে (−) হইবে)

সুতরাং, সমীকরণ (4·3 b) হইতে

$$\alpha = \frac{P_t - P_0}{P_0 t}$$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে

[α-এর মান $\frac{1}{273}$ বা 0 00366-এর মত হইবে]

সতর্কতা (Precautions) :

(i) আর্দ্র গ্যাস, গ্যাসসূত্র মানে না। সেজন্য বাল্‌বের ভিতরকার গ্যাস যতদূর সম্ভব শুষ্ক হওয়া প্রয়োজন

(ii) পাঠগ্রহণকালে, বাল্‌বের উষ্ণতা অন্ততঃ 5 মিনিট যেন স্থির থাকে

(iii) বিকারের জল ভালভাবে আলোড়িত হওয়া প্রয়োজন—বিশেষতঃ পাঠগ্রহণকালে

(iv) কৈশিক নলের ভিতরকার গ্যাসের উষ্ণতা, বাল্‌বের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের উষ্ণতার সমান নয়, সেজন্য ঐ কৈশিক নল যতখানি সম্ভব সরু ও হ্রস্বদৈর্ঘ্যের হওয়া প্রয়োজন

(v) পরীক্ষাশেষে L নলের পারদস্তম্ভ X-দাগ হইতে বেশ অনেকখানি নীচে নামাইয়া রাখা প্রয়োজন নচেৎ উষ্ণতা কমিলে পারদ বাল্‌বের ভিতর চলিয়া যাইবে। সেজন্য পরীক্ষাশেষে H নলকে বেশ খানিকটা নীচে নামাইয়া দেওয়া হয়।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ চাপগুণাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উঃ স্থির আয়তনবিশিষ্ট কোন গ্যাসের 0°C চাপে প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ চাপ বৃদ্ধি পায়, তাহাই ঐ গ্যাসের চাপগুণাঙ্ক।

প্রঃ এই চাপগুণাঙ্ক কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ ইহা কেবলমাত্র উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভর করে। গ্যাসের স্তর, প্রকৃতি বা উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। সেন্টিগ্রেড স্কেলে ইহার মান, ফারেনহাইট স্কেলের মান অপেক্ষা বেশী হইবে।

প্রঃ গ্যাসের চাপ মাপিবার জন্য পারদের পরিবর্তে জল বা অন্য কোন তরল কি লওয়া যাইতে পারে ?

উঃ সাধারণতঃ, পারদ লওয়া হয় রবার টিউবের ভিতর কারণ ব্যারোমিটারে যেহেতু বায়ুচাপ নির্ণয় করা হয়, পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের সাহায্যে। সেজন্য উভয় ক্ষেত্রে পারদ থাকায়, গ্যাসের মোট চাপ নির্ণয় করা সহজ হয়। অন্য তরল লইলে, তাহার ঘনত্ব জানিয়া, উহার উচ্চতার সমতুল্য পারদস্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় করিতে হইবে এবং তখনই মোট চাপ পাওয়া যাইবে। জল ব্যবহার করিলে, গ্যাসের উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে, জল বাষ্পীভূত হইবে এবং উহার উচ্চতা ব্যবধান নির্ণয়ে ভুল হইবে।

প্রঃ বাল্‌বের সংলগ্ন নলটি কিরূপ হওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ এই নলটি যথাসম্ভব সরু ও ছোট দৈর্ঘ্যের হওয়া বাঞ্ছনীয় কারণ ঐ নলের ভিতরের গ্যাস সেক্ষেত্রে খুব অল্প পরিমাণের হয়। যেহেতু ঐ গ্যাসের উষ্ণতা বাল্‌বের ভিতরকার গ্যাসের উষ্ণতার সমান নয়, সেজন্য ঐ গ্যাস পরিমাণে যত কম হইবে, পরীক্ষার লব্ধফলের মানও তত নির্ভুল হইবে।

প্রঃ এই পরীক্ষা হইতে উষ্ণতা স্কেলের চরম শূন্য (absolute zero)-এর মান পাওয়া যায় কি ?

উঃ হ্যাঁ, লেখচিত্র হইতে α-এর মান বাহির করিয়া, যদি উষ্ণতাকে ($t°$) সেই মান $\left(\frac{1}{\alpha}\right)$ পর্যন্ত নামাইয়া লওয়া যায়, তাহা হইলে $P_t = P_0(1+\alpha t)$ সূত্র হইতে $t = -\frac{1}{\alpha}$ হইলে, $P_t = 0$ হয়। অর্থাৎ, গ্যাসের চাপ শূন্য হয়। গ্যাসের সূত্র অনুযায়ী চরম শূন্য তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন-এর মান শূন্য হয়। সুতরাং, $t = -\frac{1}{\alpha}$ এই তাপমাত্রাই চরম শূন্য উষ্ণতা।

প্রঃ বাল্বটি যদি কাচের পরিবর্তে সুপরিবাহীতার জন্য তামার দ্বারা তৈয়ারী হইত, তাহা হইলে কি কোন অসুবিধা হইত ?

উঃ সেক্ষেত্রে উষ্ণতাবৃদ্ধিতে বাল্বের যথেষ্ট আয়তন প্রসারণ ঘটিয়া, গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি ঘটিত এবং স্থির আয়তনের সর্ত পূরণ হইত না।

প্রঃ এই যন্ত্রকে কেন একপ্রকারের থার্মোমিটার বলা হয় ?

উঃ যেহেতু গ্যাসের চাপগুণাঙ্কের মান নির্দিষ্ট (1/273) এবং সব গ্যাসেরই মান এক, সেহেতু যে কোন গ্যাস লইয়া, তাহার চাপগুণাঙ্কের মান জানা থাকিলে, বাল্বটিকে কোন একটি অজানা উষ্ণতা বিশিষ্ট তরলের মধ্যে বসাইয়া, উহার চাপ পরিবর্তনের মান এই পরীক্ষা দ্বারা নির্ণয় করিয়া, সমীকরণ (4.3b) হইতে, সব রাশির মান বসাইয়া, $t°C$-এর মান (অজানা উষ্ণতা) নির্ণয় করা যায়। সেজন্য, ইহা উষ্ণতা নির্ণয় করিতে পারে বলিয়া, ইহাকে একপ্রকার গ্যাস থার্মোমিটারও বলা যায়।

4·4 স্থির চাপবিশিষ্ট কোন গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্ক-এর মান নির্ণয় (Determination of the volume coefficient of a gas at constant pressure)

মূলনীতি (Theory):

নির্দিষ্ট চাপবিশিষ্ট কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ স্থির রাখিয়া যদি উহার উষ্ণতা 0° সেন্টিগ্রেড হইতে $t°$ সেন্টিগ্রেডে পরিবর্তন করা হয়, তাহা হইলে উহার আয়তন পরিবর্তিত হইবে। যদি গ্যাসের আয়তন 0° সেন্টিগ্রেডে ও $t°$ সেন্টিগ্রেডে যথাক্রমে V_0 ও V_t হয়, তাহা হইলে, চার্লসের সূত্র অনুযায়ী

$$V_t = V_0(1 + \alpha_p t) \qquad \cdots \quad (4.4a)$$

যখন, α_p গ্যাসের স্থির চাপে আয়তন প্রসারাঙ্ক

সমীকরণ (4.4a) হইতে

$$\alpha_p = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে} \qquad \cdots \quad (4.4b)$$

পক্ষান্তরে, 0° সেন্টিগ্রেডে গ্যাসের আয়তন জানা না থাকিলেও, যদি $t_1°C$ ও $t_2°C$ এই দুই উষ্ণতায় ঐ গ্যাসের আয়তন (স্থিরচাপে) যথাক্রমে V_1 ও V_2 হয়, তাহা হইলে

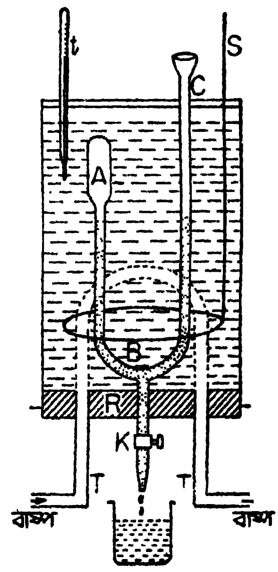
$$\alpha_p = \frac{V_2 - V_1}{V_1 t_2 - V_2 t_1} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড} \qquad \cdots \quad (4.4c)$$

স্থির চাপে গ্যাসকে বিভিন্ন উষ্ণতায় উত্তপ্ত করিলে ($t°C$) উহার আয়তন ক্রমশঃ পরিবর্তিত হইবে (V)। গ্যাসের উষ্ণতাকে কোন লেখচিত্রে ভুজ বরাবর নির্দেশ করিয়া যদি উহার আয়তনকে কোটি বরাবর নির্দেশ করিয়া একটি লেখ টানা হয়, তাহা হইলে ঐ লেখ একটি সরলরেখা হইবে। এই লেখ হইতে যে কোন একটি বিন্দু লইয়া, $t°C$-এ গ্যাসের আয়তন V_t নির্ণয় করিতে হইবে এবং ঐ লেখচিত্র হইতে $O°C$-এ V_0-এর মান নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (4·4b)-তে বসাইলে আয়তন প্রসারাঙ্ক (α_p) এর মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

স্থির চাপ গ্যাস থার্মোমিটার ; তাপন পাত্র ; থার্মোমিটার ইত্যাদি।

স্থির চাপ গ্যাস থার্মোমিটার যন্ত্রে একটি U-আকৃতির মোটা কাঁচের নল (ABC) থাকে যাহার একটি প্রান্ত খোলা (C) এবং অপর প্রান্তটির শেষে একটি কাচের বাল্‌ব (A) যুক্ত থাকে (চিত্র 4.8)। এই বাল্‌ব ও উহার সংলগ্ন বাহুটিতে আয়তন সূচক ঘনসেন্টিমিটারে দাগ কাটা থাকে যাহার মান উপর হইতে নীচের দিকে বেশী। এই U-নলের ভিতর গাঢ় সালফিউরিক এ্যাসিড থাকে এবং নলের নীচের দিকে একটি কাঁচের স্টপকক্ (K) থাকে যাহার সাহায্যে প্রয়োজনমত U-নল হইতে অ্যাসিড বাহির করা যায়। এই নলটিকে একটি কাঁচের জারের মধ্যে (J) জলের মধ্যে



চিত্র 4.8 : স্থিরচাপ গ্যাস থার্মোমিটার

এমনভাবে ডুবানো থাকে যাহাতে ছোট বাহুটি ও তৎসংলগ্ন বাল্‌বটি জলের মধ্যে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত থাকে এবং অপর বাহুর (C) মুখটি জলের উপরে বাতাসে থাকে,

জারের নীচের মুখ একটি রবারের ছিপি দ্বারা (R) বন্ধ থাকে এবং এই ছিপির মধ্য দিয়া একটি বাঁকানো তামার নল (TT) প্রবেশ করানো থাকে। এই নলের মধ্য দিয়া বাষ্প প্রবাহিত করিয়া জারের জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করা যায়। জলের উষ্ণতা একটি থার্মোমিটারের সাহায্যে (t) নির্ণয় করা যায়। স্টপককের সাহায্যে অ্যাসিড বাহির করিয়া লইয়া U-নলের উভয় বাহুতে সর্বদা অ্যাসিডতল একই রাখা হয়। ইহার ফলে বাল্‌বের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের চাপ সর্বদা খোলামুখ নলের উপর বায়ুর চাপ অর্থাৎ বাতাসের চাপের সমান হয়। একটি আলোড়কের (S) সাহায্যে জারের জলকে আলোড়ন করা যায় যাহাতে ইহার উষ্ণতা সর্বত্র সমান থাকে।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) U-নলের খোলামুখে প্রথমে অ্যাসিড ঢালিয়া, ঐ মুখে অ্যাসিডতলকে বদ্ধ নলে অ্যাসিডতল অপেক্ষা বেশী রাখা হইল।

(ii) স্টপকক্ খুলিয়া কিছু পরিমাণ অ্যাসিড বাহির করিয়া লইয়া, U-নলের উভয় বাহুতে অ্যাসিডতল সমান করা হইল এবং বাল্‌ব (A)-এর ভিতরকার বদ্ধ বায়ুর আয়তন কতখানি তাহার পাঠ লওয়া হইল। থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের উষ্ণতাও (প্রাথমিক উষ্ণতা) নির্ণয় করা হইল।

(iii) তামার নলের ভিতর দিয়া তাপনযন্ত্র হইতে আগত বাষ্প প্রবাহিত করা হইতে লাগিল এবং আলোড়কের সাহায্যে জলকে ক্রমাগত আলোড়িত করা হইতে লাগিল।

(iv) জারের জল ক্রমশঃ উত্তপ্ত হইতে থাকিবে এবং যখন তাপমাত্রা প্রাথমিক উষ্ণতা হইতে 8° সে মত বেশী হইবে তখন দেখা যাইবে যে, বদ্ধ বায়ুর প্রসারণের ফলে U-নলের বামবাহুতে অ্যাসিডতল কিছু নীচে নামিয়া আসিবে।

(v) পুনরায় ঐ অবস্থায় স্টপকক খুলিয়া কিছু অ্যাসিড বাহির করিয়া উভয় বাহুতে অ্যাসিডতল সমান করিতে হইবে। ইহার ফলে বদ্ধ বায়ুর চাপ পুনরায় বাতাসের চাপের (পরীক্ষাকালীন) সমান হইবে। অর্থাৎ বদ্ধ বায়ুর চাপ স্থির রাখা হয়। এই অবস্থায় বদ্ধ বায়ুর আয়তনের পাঠ লইতে হইবে।

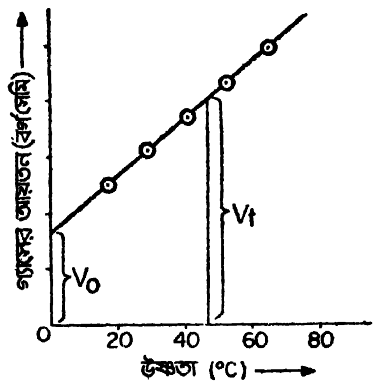
(vi) অনুরূপভাবে, প্রতি 8° সে অন্তর পাঠ লইতে হইবে এবং প্রতিবার অ্যাসিড বাহির করিয়া উভয় বাহুতে অ্যাসিডতল সমান করিতে হইবে। এইরূপ অন্ততঃ 6 বা 7টি পাঠ লইতে হইবে।

(vii) ব্যারোমিটার হইতে বায়ুর চাপ পরীক্ষার পূর্বে ও পরে লইয়া গড় বায়ুর চাপ নির্ণয় করিতে হইবে।

লেখচিত্র অঙ্কন :

গ্যাসের উষ্ণতাকে ভুজ বরাবর (X অক্ষ) এবং আয়তনকে কোটি বরাবর (Y অক্ষ) স্থাপন করিয়া এবং উষ্ণতার মূলবিন্দুকে 0° সে ধরিয়া একটি লেখচিত্র

(চিত্র 4.9) অঙ্কন করিতে হইবে। লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে। এই লেখচিত্র হইতে 0° সে ও যে কোন উষ্ণতা t° সে-এর জন্য গ্যাসের আয়তন



চিত্র 4.9 : গ্যাসের আয়তন-উষ্ণতা লেখচিত্র

(V_0 ও V_t) নির্ণয় করিয়া, উহাদের সমীকরণ (4.4b)-তে বসাইলে, গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্ক (α_p)-এর মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

সারণী—1

বায়ুর চাপ নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ	ব্যারোমিটারে বায়ুর চাপ		গড় বায়ুর চাপ
	পরীক্ষার পূর্বে	পরীক্ষার পরে	
1	···সেমি.	···সেমি.	·· সেমি.
2	···সেমি.	···সেমি.	

গ্যাসের উষ্ণতা-আয়তনের পাঠ

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	1	2	3	4	5	6
গ্যাসের বা বায়ুর উষ্ণতা	...° সে.	...° সে.	...° সে.	...° সে.	...° সে.	...° সে.
গ্যাসের বা বায়ুর আয়তন	... ঘনসেমি	... ঘনসেমি	... ঘনসেমি	... ঘনসেমি	... ঘনসেমি	... ঘনসেমি

হিসাব (Calculation) :

লেখচিত্র হইতে O° সে গ্যাসের বা বায়ুর আয়তন (V_0)= ... ঘনসেমি.

এবং t° সে ... ... (V_t)= ... ঘনসেমি.

সুতরাং স্থিরচাপে বায়ুর/গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্ক $(\alpha_p)=\frac{V_t-V_0}{V_0 t}=$ ...

প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে (α_p-এর মান 1/273 বা 0·00366 প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে হয়)

সতর্কতা (Precautions)

(i) উষ্ণতা বাড়াইয়া আয়তনের পাঠ লইবার সময়ে জলের উষ্ণতা যেন অন্তত 2/3 মিনিট স্থির থাকে।

(ii) ষ্টপকক হইতে অ্যাসিড বাহির করার সময়ে বিশেষ সাবধানতা অবলম্বন করা উচিত যাহাতে দুই বাহুতে যেন অ্যাসিডতল ঠিক একই থাকে। খোলা বাহুতে যেন অ্যাসিডতল নীচে নামিয়া না আসে।

(iii) উষ্ণতা (জলের) 80° সেন্টিগ্রেডের উপর না উঠানো বাঞ্ছনীয়।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ এই যন্ত্রে সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয় কেন?

উঃ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড জলশোষক—সেজন্য গ্যাসের মধ্যেকার অবস্থিত সামান্য জলীয় বাষ্প থাকিলে, ইহা তাহা শোষণ করিয়া লয় এবং গ্যাস শুষ্ক থাকে। অধিকন্তু এই অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব কম হওয়ায়, বায়ুচাপের সামান্য পার্থক্য ঘটিলে, নলের দুই বাহুতে অ্যাসিড তলের পার্থক্য অনেকখানি হইবে এবং বায়ুচাপের সামান্য পরিবর্তন ধরা পড়ে।

প্রঃ অ্যাসিডের পরিবর্তে জল ব্যবহার করা যায় কি ?

উঃ না, সেক্ষেত্রে জলীয় বাষ্প গ্যাসকে আর্দ্র করিয়া রাখিবে এবং গ্যাসসূত্র প্রযোজ্য হইবে না।

প্রঃ U-নলের দুই বাহুর ব্যাস কি এক হওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ হাঁ, নচেৎ চাপ এক থাকিলেও ভিন্ন ব্যাসের জন্য পৃষ্টটানহেতু অ্যাসিডতলের মধ্যে দুই বাহুতে পার্থক্য ঘটিবে।

প্রঃ এই পরীক্ষা হইতে কি চরমশূন্য উষ্ণতা পাওয়া যায় ?

উঃ স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন চার্লসের সূত্র $V_t = V_0(1+\alpha_p t)$ অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। এখন যেহেতু $\alpha_p = 1/273$, সেজন্য $t = -273°$ সে পর্যন্ত লইয়া যাইলে গ্যাসের আয়তন শূন্য হইবে। সেজন্য $-273°$ সে উষ্ণতাই চরমশূন্য উষ্ণতার মান। (লেখচিত্র হইতেও উহার মান পাওয়া যায়।)

প্রঃ চার্লসের সূত্র কি সব গ্যাসের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য ?

উঃ না, কেবলমাত্র আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রেই এই সূত্র প্রযোজ্য।

প্রঃ আয়তন প্রসারাঙ্ক (α_p) ও চাপগুণাঙ্ক (α_v)-এর মধ্যে কি সম্পর্ক ?

উঃ যে কোন গ্যাসের আয়তনগুণাঙ্ক (α_p) ও চাপগুণাঙ্ক (α_v)-এর মান একই এবং উহার মান প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে 1/273।

প্রঃ আয়তন প্রসারাঙ্কের মান কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ উহার মান গ্যাসের আয়তন, পরিমাণ বা উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। তবে, উষ্ণতা ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডের পরিবর্তে ডিগ্রী ফারেনহাইটে মাপিলে উহার মান পরিবর্তিত হইবে। ফারেনহাইট স্কেলে α_p এর মান হইবে $\frac{5}{9} \times 0.00366$ প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে।

প্রঃ ইহাকে থার্মোমিটার বলে কেন ?

উঃ পূর্ববর্তী পরীক্ষার (4.3) প্রশ্নোত্তরের শেষ প্রশ্ন ও উত্তর দ্রষ্টব্য।

4·5 মিশ্রণ প্রক্রিয়ার সাহায্যে কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (তাপবিকিরণের জন্য সংশোধন প্রয়োগ করিয়া) (Determination of the Specific heat of a solid by the method of mixture, correcting for radiation loss)

মূলনীতি (Theory):

কোন বস্তুর একক ভরের উষ্ণতা 1° সেন্টিগ্রেড বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন তাহাই ঐ বস্তুর আপেক্ষিক তাপ।

এখন, কোন কঠিন পদার্থের ভর যদি জানা থাকে, তাহা হইলে ঐ বস্তুটিকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উত্তপ্ত করিয়া যদি একটি জলসহ ক্যালোরিমিটার পাত্রের মধ্যে ফেলা হয় (ক্যালোরিমিটারের ভর, আপেক্ষিক তাপ ও জলের ভর জানা), তাহা হইলে ঐ কঠিন পদার্থ তাপ বর্জন করিবে এবং পরীক্ষাগারের উষ্ণতাসম্পন্ন জল ও ক্যালোরিমিটার তাপ গ্রহণ করিবে। পরিশেষে সমগ্র জিনিসগুলি একটি সাম্য উষ্ণতায় আসিবে। সেই অবস্থায়, বর্জিত তাপ এবং গৃহীত তাপ সমান (বিকিরণের জন্য সংশোধন করিয়া), এই সূত্র হইতে কঠিন বস্তুটির আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা যায়।

যদি, m_1 = ক্যালোরিমিটারের (আলোড়কসহ) ভর

m_2 = ক্যালোরিমিটারে জলের ভর

S_1 = ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ

S_2 = জলের আপেক্ষিক তাপ

t_1 = ক্যালোরিমিটারের (জলসহ) প্রাথমিক উষ্ণতা

t_2 = কঠিন পদার্থের উষ্ণতা (উত্তপ্ত অবস্থায়)

t = চূড়ান্ত সাম্য উষ্ণতা (বিকিরণের জন্য সংশোধনের পর)

m = কঠিন পদার্থের ভর

S = নির্ণেয় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হয়, তাহা হইলে,

কঠিন পদার্থ কর্তৃক বর্জিত তাপ $= mS(t_2 - t)$ ক্যালোরি

ক্যালোরিমিটার ও জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= (m_1S_1 + m_2S_2)(t - t_1)$ ক্যালোরি

সুতরাং সাম্য অবস্থায়

$$mS(t_2 - t) = (m_1S_1 + m_2S_2)(t - t_1)$$

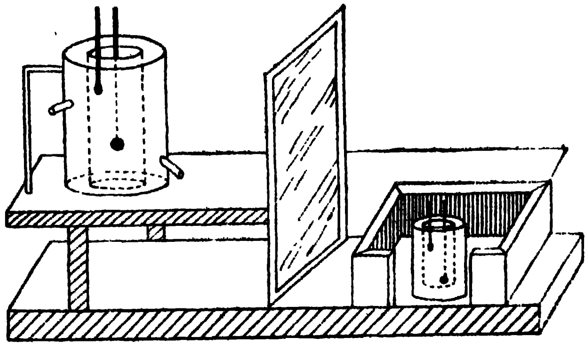
বা, $$S = \frac{(m_1S_1 + m_2S_2)(t - t_1)}{m(t_2 - t)} \quad \cdots \quad (4{\cdot}5a)$$

আপেক্ষিক তাপের একক, ক্যালোরি প্রতি গ্রামে প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

রেঁনো যন্ত্র ; সূক্ষ্ম থার্মোমিটার, তাপনযন্ত্র, তুলাযন্ত্র ইত্যাদি।

রেঁনো যন্ত্র একটি বিশেষ ধরনের ক্যালোরিমিটারসহ ব্যবস্থা যাহাতে পরীক্ষণীয় কঠিন বস্তুটিকে বাষ্পের সংস্পর্শে না আনিয়া বাষ্পের উষ্ণতায় আনা যায় এবং সরাসরি তাপন যন্ত্রের অভ্যন্তর হইতে ক্যালোরিমিটারের ভিতর ফেলা যায় (চিত্র 4.10)।



চিত্র 4.10 রেঁনো যন্ত্র

ইহাতে কঠিন পদার্থটিকে ক্যালোরিমিটারে স্থাপনের সময়ে বাতাসের সংস্পর্শে না আনায়, ঐ সময়ে কোন তাপ বিকিরিত হয় না। আবার ক্যালোরিমিটারটিকে

তাপনযন্ত্র হইতে পৃথক করিবার ব্যবস্থা থাকে যাহাতে উহা তাপনযন্ত্র হইতে কোন উত্তাপ না পায়।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure) :

(i) তাপনযন্ত্রে তাপ প্রয়োগ করিয়া বয়লারে জল ফুটাইবার ব্যবস্থা করা হইল। ইত্যবসরে, কঠিন পদার্থটির ওজন (m) নির্ণয় করিয়া লওয়া হইল। তাপনযন্ত্রে বাষ্পের উষ্ণতা (t_1) একটি থার্মোমিটারের (T_1) সাহায্যে নির্ণয় করা হইল।

(ii) কঠিন পদার্থটিকে একটি সুতার সাহায্যে তাপনযন্ত্রের ভিতর ঢুকাইয়া দেওয়া হইল। উহা ক্রমশ উত্তপ্ত হইয়া বাষ্পের উষ্ণতা প্রাপ্ত হইবে। এই সময়ে ক্যালোরিমিটার ও উহার অভ্যন্তরস্থ জলের ভর (m_1 ও m_2) নির্ণয় করিয়া লওয়া হইল।

(iii) ক্যালোরিমিটারের অভ্যন্তরে নির্দিষ্ট থার্মোমিটারের (T_2) সাহায্যে উহার এবং জলের প্রাথমিক উষ্ণতা (t_1) নির্ণয় করা হইল।

(iv) তাপনযন্ত্র T_1 থার্মোমিটারের উষ্ণতা যখন অন্তত 10 মিনিট স্থির অবস্থায় থাকিবে, তখন রেঁনো যন্ত্রের বিশেষ ব্যবস্থা অনুসারে তাপনযন্ত্র ও ক্যালোরিমিটারের মধ্যকার কাঠের প্রাচীর (partition)-টিকে তুলিয়া ক্যালোমিটারকে তাপনযন্ত্রের নীচে আনা হইল এবং সুতাটিকে ছাড়িয়া কঠিন পদার্থটিকে তাপনযন্ত্রের অভ্যন্তর হইতে ক্যালোরিমিটারের ভিতর ফেলা হইল।

(v) খুব দ্রুত ক্যালোরিমিটারকে সরাইয়া লইয়া, কাঠের প্রাচীরটিকে নামাইয়া দেওয়া হইল এবং আলোড়কের সাহায্যে ক্যালোরিমিটারের জলকে নাড়ানো হইতে লাগিল।

(vi) ক্যালোরিমিটারের জলের উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে এবং থার্মোমিটার T_2 হইতে উহার উষ্ণতা লিপিবদ্ধ করা হইতে থাকিল। চরম উষ্ণতা কত হইল তাহা লিপিবদ্ধ করা হইল। উহাই হইল সাম্য উষ্ণতা।

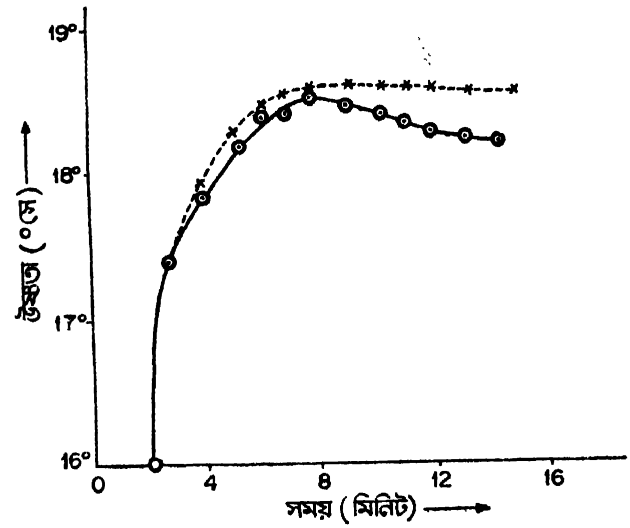
(vii) ইহার পর বিকিরণের জন্য সংশোধন প্রয়োগ করিয়া (বিস্তারিত পরে দ্রষ্টব্য) চূড়ান্ত সাম্য উষ্ণতা (t°) নির্ণয় করা হইল।

(viii) সবশেষে, ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ (S_1) এবং জল (বা অন্য কোন ব্যবহৃত তরল)-এর আপেক্ষিক তাপ (S_2)-এর মান জানিয়া, সমীকরণ (4 5a)-তে বসাইলে, পরীক্ষণীয় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের মান (S) পাওয়া যাইবে।

উষ্ণতা-হ্রাস (বিকিরণহেতু) এর জন্য সংশোধন নির্ণয় (Cooling correction due to radiation)

তাপনযন্ত্রের নীচে ক্যালোরিমিটার আনিয়া উহার মধ্যে কঠিন পদার্থটিকে ফেলিবার পর হইতে 1 মিনিট অন্তর T_2 থার্মোমিটারের উষ্ণতা পর্যবেক্ষণ করা হইতে

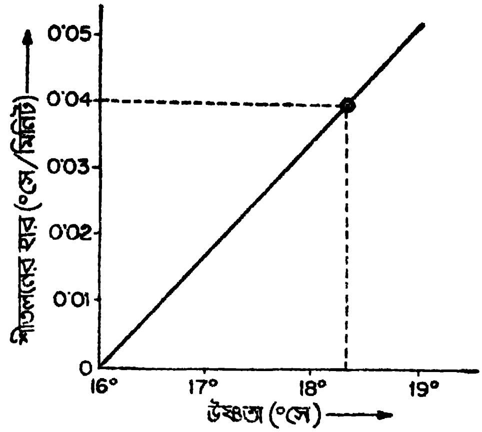
লাগিল। চরম উষ্ণতা পাঠের পরও অন্ততঃ ছয়টি আরো পাঠ লওয়া হইল। উষ্ণতা 1/10 ডিগ্রী সেন্টি.গ্রেড থার্মোমিটারের দ্বারা পরিমাপ করা বাঞ্ছনীয়। সময়-উষ্ণতা পরিমাপ সারণীবদ্ধ করিয়া ঐ সারণী হইতে সময় বনাম উষ্ণতার একটি লেখচিত্র (চিত্র 4.11) অঙ্কন করা হইল। এরপর উষ্ণতা-হ্রাসের হার নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 4.11 : সময়-উষ্ণতা লেখচিত্র

বিভিন্ন উষ্ণতায় উষ্ণতা-হ্রাসের মান নির্ণয় করিতে হইলে প্রথমে সারণীতে লিপিবদ্ধকৃত চরম উষ্ণতার মানের পর অন্ততঃ ছয়টি উষ্ণতার মান লইতে হইবে। ইহাদিগকে দুইটি বিভাগে ভাগ করা হইল (পরবর্তী সারণীতে প্রদর্শিত)। ঐ দুই বিভাগ হইতে প্রথম ও চতুর্থ, দ্বিতীয়-পঞ্চম এবং তৃতীয়-ষষ্ঠ পাঠ হইতে তিন মিনিটে উষ্ণতার হ্রাস নির্ণয় করা হইল। এই মানগুলি তৃতীয় পর্যায়ে লিপিবদ্ধ করা হইল। ইহা হইতে প্রতি মিনিটে উষ্ণতাহ্রাসের পরিমাণ বাহির করা হইল। একই সঙ্গে ছয়টি পাঠ হইতে গড় উষ্ণতা পাওয়া গেল। সুতরাং, ঐ গড় উষ্ণতায় প্রতি মিনিটে কতখানি উষ্ণতাহ্রাস পাইয়াছে, তাহা নির্ণীত হইল।

এই উষ্ণতায় উষ্ণতা-হ্রাসের মান লেখচিত্রে (চিত্র 4.12) একটি বিন্দু হইবে। অপর বিন্দুটি হইবে লেখচিত্রের মূলবিন্দু যেখানে পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় উষ্ণতাহ্রাসের মান শূন্য। এই লেখচিত্রে x-অক্ষ বরাবর উষ্ণতা এবং y-অক্ষ বরাবর উষ্ণতাহ্রাসের হার স্থাপনা করিলে একটি সরলরেখা লেখচিত্র পাওয়া যাইবে। নিউটনের শীতলনের সূত্র (law of cooling) অনুযায়ী এই লেখচিত্রটি সরলরেখা হইবে। এই লেখচিত্র হইতে যে কোন উষ্ণতায় কি পরিমাণ শীতলন ঘটিয়াছে তাহা জানা যায়।



চিত্র 4.12 : শীতলনের লেখচিত্র

প্রথম সারণী হইতে প্রতি মিনিটে গড় উষ্ণতা নির্ণয় করিয়া ঐ উষ্ণতায় শীতলনের পরিমাণ চিত্র 4.12 হইতে বাহির করা হইল। এইরূপে প্রতি উষ্ণতায় মোট শীতলনের পরিমাণ (ঐ পরিমাণগুলিকে ধারাবাহিক ভাবে যোগ করিয়া) নির্ণয় করিতে হইবে এবং প্রতিটি পরিলক্ষিত উষ্ণতার সহিত মোট শীতলনের পরিমাণ যোগ করিলে, প্রতিটি ক্ষেত্রে সংশোধিত উষ্ণতা পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

কঠিন পদার্থের ভর (m) = ... গ্রাম

ক্যালোরিমিটারের ভর (আলোড়কসহ) (m_1) = ... গ্রাম

ক্যালোরিমিটার + আলোড়ক + জলের মোট ভর = ... গ্রাম

∴ জলের ভর (m_2) = ... গ্রাম

ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ (S_1) = ...

জলের (বা তরলের) আপেক্ষিক তাপ (S_2) = ...

ক্যালোরিমিটার ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা $(t_1°)$ = ... °সে

(সারণী 1 হইতে)

কঠিন পদার্থের উষ্ণতা ও মিশ্রণের পূর্বে জলের উষ্ণতা নির্ণয়

সারণী—1

সময় (মিনিটে)→	0	5	10	15	20	25	30
তাপনযন্ত্রের উষ্ণতা (Bath)	...	...	...	...	...	উষ্ণতা স্থির রহিয়াছে	
ক্যালোরিমিটারের উষ্ণতা	...	...	...	...	...	„	„

∴ উত্তপ্ত কঠিন পদার্থের উষ্ণতা (t_2) = ... °সেন্টিগ্রেড

সময়-উষ্ণতার পরিমাপ
সারণী—2
(মানগুলি কাল্পনিক ও উদাহরণের জন্য প্রদত্ত)

সময় (মিনিট)	উষ্ণতা (°সে)	গড় উষ্ণতা (°সে)	শীতলন চিত্র হইতে অবসরে শীতলনের পরিমাণ (°সে)	অবসরের শেষে মোট শীতলনের পরিমাণ (°সে)	সংশোধিত উষ্ণতা (°সে)
0	16·0				
1	16·0				
2	16·0				
	কঠিন পদার্থটি ক্যালোরিমিটারে নিমজ্জিত				
3	17·40	16·70	·0121	·0121	17·41
4	17·85	17·63	·0271	·0392	17·89
5	18·20	18·02	·0367	·0759	18·28
6	18·40	18·30	·0390	·1149	18·51
7	18·40	18·40	·0421	·1570	18·56
8	18·50	18·45	·0430	·2000	18·70
9	18·45	18·47	·0432	·2432	18·79
10	18·40	18·43	·0425	·2857	18·68
11	18·35	18·37	·0412	·3269	18·68
12	18·30	18·33	·0400	·3669	18·67
13	18·30	18·30	·0390	·4059	18·71
14	18·25	18·27	·0381	·4440	18·70

শীতলনের হার নির্ণয়
সারণী—3

	চরম উষ্ণতার পর শীতলনের সময়কার উষ্ণতা (°সে)	3 মিনিটে শীতলন (°সে)	3 মিনিটে গড় শীতলন (°সে)	প্রতি মিনিটে গড় শীতলনের হার (°সে)	6 মিনিটে গড় উষ্ণতা (°সে)
(1)	18·45				
(2)	18·40				
(3)	18·35				
(4)	18·30	0·15			
(5)	18·30	0·10	0·12	0·04	18·34
(6)	18·25	0·10			

সুতরাং, সারণী—2-এর শেষ স্তম্ভ হইতে পাওয়া যায়, যে বিকিরণের জন্য উষ্ণতা হ্রাসের সংশোধনীর পর মিশ্রণের চরম সাম্য উষ্ণতা (t°) 18 70 °সেন্টিগ্রেড।

∴ সুতরাং চরম সাম্য উষ্ণতা (t')= … সেন্টিগ্রেড অতএব সমীকরণ (4·5a)-তে মান বসাইয়া

$$S=\frac{(m_1S_1+m_2S_2)\ (t-t_1)}{m(t_2-t)}$$ ক্যালরি/প্রতিগ্রাম/°সেন্টিগ্রেড

সতর্কতা (Precautions) :

(i) ক্যালরিমিটারে জল অপেক্ষা অন্য তরলপদার্থ (ক্যাষ্টর তৈল, টার্পেনটাইন বা অলিভ তৈল জাতীয়) লওয়া বাঞ্ছনীয়। ইহাদের আপেক্ষিক তাপ জল অপেক্ষা কম হওয়াতে, $(t-t_1)$-এর মান বেশী হইবে।

(ii) যেহেতু S-এর মান $(t-t_1)$-এর মানের সমানুপাতিক সেজন্য t-এর মান (সাম্য উষ্ণতা) যত বেশী হইবে, S-এর মাননির্ণয়ে তত ভুল কম হইবে।

(iii) m_2 ও S_2-এর মান কমাইয়া $(t-t_1)$-এর মান বাড়ানো যাইতে পারে। তবে t-এর মান খুব বেশী যেন না হয়। সেক্ষেত্রে নিউটনের শীতলনের সূত্র কার্যকরী হইবে না।

(iv) ক্যালরিমিটার যেন কোন প্রকারেই অন্য কোন স্থান হইতে উত্তাপ না পায়। উহাকে তাপনযন্ত্রের নীচে বেশিক্ষণ রাখা চলিবে না।

দ্রষ্টব্য : এই পরীক্ষার সাহায্যে কোন তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা যায়। সেক্ষেত্রে কঠিন পদার্থটির আপেক্ষিক তাপমাত্রা জানা প্রয়োজন এবং সমীকরণ (4·5a)-এ S_2-এর মান অজানা। সেক্ষেত্রে (4.5a) সমীকরণকে লিখিতে হইবে এইরূপ ভাবে

$$S_2=\frac{mS(t_2-t)}{m_2(t-t_1)}-\frac{m_1S_1}{m_2} \quad \cdots \quad (4{\cdot}5b).$$

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা ও একক কি ?

উঃ কোন বস্তুর একক ভরকে একক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, তাহাই উহার আপেক্ষিক তাপ। ইহার একক ক্যালরি প্রতি গ্রাম প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড।

প্রঃ ক্যালরিমিটারের 'জলসম' কাহাকে বলে ?

উঃ আঙ্কিকভাবে ক্যালরিমিটারের ভর ও আপেক্ষিক তাপের গুণফলকে উহার জলসম হিসাবে প্রকাশ করা যায়। (সংজ্ঞার জন্য পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য)

প্রঃ আপেক্ষিক তাপ কি উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয় ?

উঃ সাধারণতঃ আপেক্ষিক তাপকে একটি ধ্রুবক রাশি বলা হইলেও, প্রকৃতপক্ষে উহা উষ্ণতার সহিত পরিবর্তনশীল। উষ্ণতা বৃদ্ধিতে আপেক্ষিক তাপ ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং একটি চরম মানে পৌঁছাইয়া স্থির হয়। আবার উষ্ণতা হ্রাসে উহা ক্রমশঃ কমিতে থাকে এবং চরম শূন্যে উহার মানও শূন্য হয়।

প্রঃ সকলের কি আপেক্ষিক তাপের মান একটি।

উঃ কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে একটি কিন্তু গ্যাসের (বা তরলের) ক্ষেত্রে উহার মান দুইটি। একটি স্থির চাপে অপরটি স্থির আয়তনে।

প্রঃ নিউটনের শীতলন সূত্র কি ?

উঃ (পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য)।

প্রঃ ঐ সূত্র কি সর্বক্ষেত্রে প্রযোজ্য ?

উঃ না, যখন বাহিরের ও বস্তুর মধ্যেকার তাপমাত্রার পার্থক্য খুব বেশী, তখন এই সূত্র প্রযোজ্য হয় না।

প্রঃ তাপক্ষতি (heat loss) কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ উহা বস্তুর তলের প্রকৃতির উপর, তলের আয়তনের উপর এবং বস্তু ও পারিপার্শ্বিক তাপমাত্রার পার্থক্যের উপর নির্ভর করে।

4·6 উষ্ণতা-হ্রাস নিরীক্ষণ করিয়া তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of the specific heat of a liquid by the method of cooling)

মূলনীতি (Theory):

একটি পাত্রে কোন তরল রাখিয়া যদি ঐ পাত্রের পার্শ্ববর্তী পরিবেশের উষ্ণতা স্থির রাখা যায়, তাহা হইলে, যদি তরলের উষ্ণতা পার্শ্ববর্তী উষ্ণতা হইতে বেশী হয়, ঐ তরলটি হইতে বিকিরণজনিত তাপ হ্রাসের পরিমাণ নির্ভর করে :

(i) তরলের উষ্ণতা ও পার্শ্ববর্তী পরিবেশের উষ্ণতার পার্থক্যের উপর

(ii) যে গাত্র হইতে তাপ বিকিরিত হইতেছে তাহার প্রকৃতি ও পরিমাপের উপর (কিন্তু তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না)।

মনে করা যাউক যে, নির্দিষ্ট একটি আয়তনের কোন তরল ক্যালরিমিটারে লওয়া হইল।

যদি, m = পরীক্ষাধীন তরলের ভর

S = " " আপেক্ষিক তাপ

t_1 = পরীক্ষাধীন তরলটি θ_1°সে হইতে θ_2°সে আসিতে $(\theta_2<\theta_1)$ সময় লয়

m = তরলের সমান একই আয়তনবিশিষ্ট জলের ভর

t_2 = জলের θ_1°সে হইতে θ_2°সে আসিতে সময় লয়

W = ক্যালোরিমিটারের জলসম (ভর × আঃ তাপ) হয়,

তাহা হইলে, নিউটনের সূত্র অনুযায়ী,

$$\text{তরলের তাপহ্রাসের হার} = \frac{(W+mS)(\theta_1-\theta_2)}{t_1} \text{ ক্যালরি/মিনিট}$$

এবং জলের তাপহ্রাসের হার $= \dfrac{(W+M)(\theta_1-\theta_2)}{t_2}$ ক্যালরি/মিনিট

এবং ইহারা সমান।

$$\text{অর্থাৎ} \quad \frac{(W+mS)(\theta_1-\theta_2)}{t_1} = \frac{(W+M)(\theta_1-\theta_2)}{t_2}$$

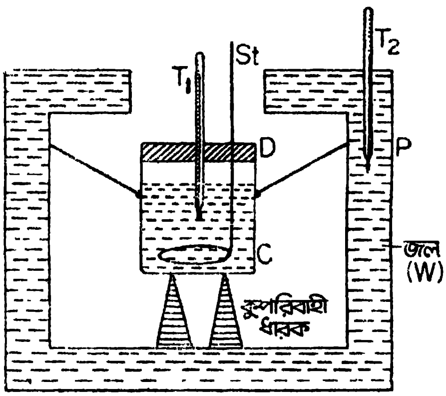
$$\text{অথবা,} \quad S = \frac{1}{m}\left\{\frac{(W+M)t_1}{t_2} - W\right\} \quad \cdots \quad (4.6a)$$

সুতরাং এই সমীকরণ হইতে, তরলের আপেক্ষিক তাপ (S) নির্ণয় করা যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

দুই দেওয়াল বিশিষ্ট পাত্র ; ক্যালোরিমিটার ; থার্মোমিটার ; তাপনযন্ত্র ইত্যাদি।

দুই দেওয়ালবিশিষ্ট পাত্রের (P) মধ্যে একটি ক্যালোরিমিটারকে (C) বসানো যায় (চিত্র 4.13)। এই ক্যালোরিমিটারের মুখে একটি ঢাকনা (D) থাকে যাহার মধ্য দিয়া আলোড়ক (St) ও একটি থার্মোমিটার (T_1) ঢুকানো যায়। ক্যালোরিমিটারের



চিত্র 4.13 : বিকিরণ দ্বারা উষ্ণতা-হ্রাস পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

বাহিরের গাত্র কাল রং করা থাকে। দুই দেওয়ালবিশিষ্ট পাত্র বা জ্যাকেটের মধ্যবর্তী অংশে ঘরের উষ্ণতায় জল (W) রাখা হয় যাহাতে ক্যালোরিমিটারের পারিপার্শ্বিক উষ্ণতা স্থির থাকে। এই উষ্ণতা আর একটি থার্মোমিটার (T_2)-এর সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) ক্যালোরিমিটারটিকে পরিষ্কার করিয়া আলোড়কসমেত (কিন্তু ঢাকনা বাদে) উহার ওজন লওয়া হইল। উহার ভিতরের গাত্রে মুখ হইতে সামান্য নীচে একটি দাগ দিয়া রাখা হইল। তরল ও জল উভয় দ্বারাই ক্যালোরিমিটার ভর্তি করিবার সময়ে ঐ দাগ পর্যন্ত উহাদের ভর্তি করা হইবে। ইহাতে সর্বদাই একই আয়তনের তরল বা জল লওয়া হইবে পরীক্ষাকালে।

(ii) একটি পৃথক পাত্রে পরিষ্কার জলকে উত্তপ্ত করা হইল (প্রায় 70° সেন্টিগ্রেড পর্যন্ত) এবং ঐ জলকে ধীরে ধীরে ক্যালোরিমিটারের ভিতরে পূর্বনির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত

ঢালা হইল। ক্যালোরিমিটারের ঢাকনা বন্ধ করিয়া, আলোড়কের সাহায্যে জলকে আলোড়ন করা হইতে লাগিল এবং থার্মোমিটার (T_1)-এর সাহায্যে উহার উষ্ণতা(θ_1) কিরূপে হ্রাস পাইতে থাকে তাহা সময়ের সহিত পাঠ লওয়া হইতে লাগিল। যখন উষ্ণতা প্রায় 40° সেন্টি:গ্রেড-এর কাছাকাছি (θ_2) আসিবে, তখন মোট কতটা সময় লাগিল তাহা লিপিবদ্ধ করা হইল।

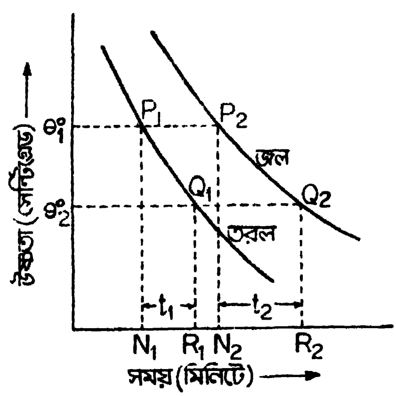
(iii) ক্যালোরিমিটারকে জলসমেত জ্যাকেটের বাহিরে আনিয়া অপেক্ষা করিতে হইবে যতক্ষণ না পর্যন্ত জলের উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতাপ্রাপ্ত হয়। জল ঠাণ্ডা হইলে জলসমেত ক্যালোরিমিটারের ওজন লওয়া হইল। এই ওজন হইতে পূর্বোক্ত ওজন বাদ দিলে, গৃহীত জলের ওজন পাওয়া যাইবে।

(iv) ক্যালোরিমিটার হইতে জল ফেলিয়া দিয়া, উহাকে পুনরায় জ্যাকেটের ভিতর বসানো হইল। আবার, একটি পাত্রে পরীক্ষাধীন তরলকে পূর্বের ন্যায় প্রায় 70° সেন্টি:গ্রেড পর্যন্ত উত্তপ্ত করিয়া ক্যালোরিমিটারে ঢালা হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, যেন এই তরলও ক্যালোরিমিটারের ভিতর দেওয়া ঐ নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত থাকে। তাহা হইলে, গৃহীত জল ও তরলের আয়তন একই থাকিবে।

(v) পূর্বের ন্যায় আলোড়ন করিয়া, পরীক্ষাধীন তরলটি ঐ উষ্ণতা হইতে (θ_1) পূর্বোক্ত উষ্ণতা (θ_2) পর্যন্ত আসিতে মোট কত সময় লয়, তাহা নির্ণয় করা হইল। প্রতি একমিনিট অন্তর উষ্ণতা-সময়-এর পাঠ লওয়া হইল।

(vi) পূর্বের ন্যায় তরলকে ঠাণ্ডা করিয়া, তরলসমেত ক্যালোরিমিটারের ওজন লওয়া হইল যাহা হইতে গৃহীত তরলের ওজন পাওয়া যাইবে।

লেখচিত্র অঙ্কন (Drawing of Graph)



চিত্র 4 14 : উষ্ণতা-সময় লেখচিত্র

X-অক্ষ বরাবর সময় এবং Y-অক্ষ বরাবর তরল ও জলের উষ্ণতাকে প্রকাশ করিয়া একই ছক কাগজে দুইটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। এই দুই লেখচিত্র তরল ও জলের উষ্ণতা θ_1° সেন্টিগ্রেড হইতে θ_2 সেন্টি:গ্রেড ($\theta_1 > \theta_2$) কত সময় লাগিয়াছে, তাহা নির্ণয় করা হইল (চিত্র 4 14)। ধরা যাউক, উহা t_1 ও t_2 মিনিট। অতএব

রাশিগুলির মান জানা থাকিলে, সমীকরণ (4·6a) হইতে, তরলের আপেক্ষিক তাপ (S) এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

ফল (Results) :

জল ও তরলের ওজন নির্ণয়

সারণী—1

আলোড়কসহ ক্যালোরিমিটারের ওজন (m_1) (গ্রাম)	ক্যালোরিমিটারের আপেক্ষিক তাপ (S_1)	ক্যালোরিমিটারের জলসম ($W=m_1S_1$) (গ্রাম)	নির্দিষ্ট আয়তনসহ, ক্যালোরিমিটার ও জলের ওজন m_2) গ্রাম	জলের ওজন (গ্রাম) (m_2-m_1	সমআয়তন বিশিষ্ট তরল ও ক্যালোরিমিটারের ওজন (m_3) গ্রাম	সমআয়তন তরলের ওজন (গ্রাম) ($M=m_3-m_1$)

তরল ও জলের সময়-উষ্ণতাহ্রাসের পাঠ

সারণী—2

সময় (মিনিটে)	0	1	2	3	..	...	10	11	12	ইত্যাদি
তরলের উষ্ণতা (°সে)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
জলের উষ্ণতা (°সে)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

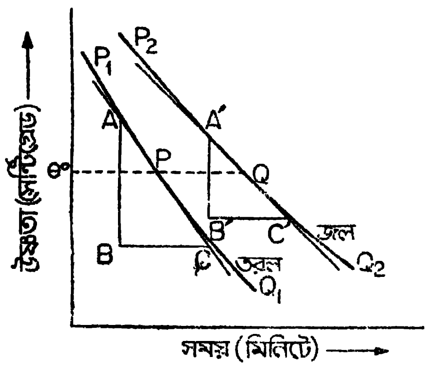
লেখচিত্র হইতে হিসাব (Calculation from the Graph)

চিত্র 4.14-এ তরল ও জলের সময়ের সহিত উষ্ণতা-হ্রাসের লেখচিত্র অঙ্কন করা হইয়াছে। P_1Q_1 তরলের জন্য ও P_2Q_2 জলের জন্য। দুইটি উষ্ণতা θ_1 ও θ_2 হইতে দুইটি সরলরেখা (X-অক্ষের সমান্তরাল) টানা হইল। ইহারা তরলের ও জলের লেখচিত্রকে যথাক্রমে P_1, Q_1 ও P_2, Q_2 বিন্দুতে ছেদ করিল। P_1, Q_1

বিন্দু হইতে P_1N_1 ও Q_1R_1 সরলরেখা Y-অক্ষের সমান্তরাল টানিলে উহারা X-অক্ষকে N_1 ও R_1 বিন্দুতে ছেদ করিল। অতএব, তরলের উষ্ণতা $\theta_1°$ সে হইতে $\theta_2°$ সে পর্যন্ত নামিতে যে সময় লাগিবে তাহার পরিমাণ হইবে t_1 মিনিট বা $t_1 \times 60$ সেকেণ্ড যাহা N_1R_1-এর সমান। একইভাবে, জলের ক্ষেত্রে এই সময়ের পরিমাণ t_2 মিনিট বা $t_2 \times 60$ সেকেণ্ড যাহা N_2R_2-এর সমান। এই t_1 ও $_2$-এর মান সেকেণ্ডে প্রকাশ করিয়া সমীকরণ (4·6a)-তে বসাইলে S-এর মান পাওয়া যাইবে।

বিকল্প পদ্ধতি

একইভাবে তরল ও জলের সময়-উষ্ণতাহ্রাস লেখচিত্র একই কাগজে অঙ্কন করিতে হইবে (চিত্র 4.15)। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ($\theta°$সে) X-অক্ষের সমান্তরাল একটি রেখা টানিলে উহা তরল ও জলের লেখচিত্রকে যথাক্রমে P ও Q বিন্দুতে ছেদ



চিত্র 4.15 : উষ্ণতা-সময় লেখচিত্র (বিকল্প হিসাব)

করে। ঐ বিন্দুদ্বয়ে দুইটি স্পর্শক টানিলে (AC ও $A'C'$) উষ্ণতাহ্রাসের হার ঐ উষ্ণতায় পাওয়া যাইবে, P ও Q বিন্দুতে লেখচিত্রের নতি (gradient) হইতে। উহাদের মান যথাক্রমে $\frac{AB}{BC}$ ও $\frac{A'B'}{B'C'}$.

$$\text{সুতরাং, } (W+mS)\frac{AB}{BC}=(W+M)\frac{A'B'}{B'C'}$$

$$\therefore \quad S=\frac{1}{m}\left\{(W+M)\frac{A'B'}{B'C'}\times\frac{BC}{AB}-W\right\}$$

দ্রষ্টব্য : বিকল্প পদ্ধতিতে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা যায় কিন্তু প্রথম লেখচিত্র হইতে হিসাব পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপ নির্ণীত হয় $\theta_1°$ ও $\theta_2°$ সেন্টিগ্রেডের গড় ব্যবধানে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) তরলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা উহার স্ফুটনাঙ্কের যথেষ্ট নীচে থাকা প্রয়োজন।
(ii) তরল বা জল যাহাতে বাষ্পীভূত না হয়, সেইদিকে লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন।
(iii) উষ্ণতা খুব সতর্কতার সহিত মাপা প্রয়োজন।
(iv) তরল ও জলের আয়তন যাহাতে ঠিক এক হয়, সেদিকে লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন।
(v) পারিপার্শ্বিক উষ্ণতা যেন পরীক্ষাকালে পরিবর্তিত না হয়।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ নিউটনের শীতলনের সূত্র কি ?

উঃ [মূলনীতি দ্রষ্টব্য]

প্রঃ এই পদ্ধতিতে কি কোন উদ্বায়ী তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা যায় ?

উঃ না, কারণ উদ্বায়ী তরলের স্ফুটনাঙ্ক কম। সেজন্য উষ্ণ করিলে (ঘরের উষ্ণতার চেয়ে বেশী) তরলের দ্রুত বাষ্পীভবন হইবে। সেক্ষেত্রে পরীক্ষায় ভুল হইবে।

প্রঃ ক্যালোরিমিটারকে জ্যাকেটের মধ্যে না রাখিয়া উন্মুক্ত বাতাসে রাখিয়া পরীক্ষাটি করিলে কি কোন ভুল হইবে ?

উঃ হ্যাঁ, সেক্ষেত্রে ক্যালোরিমিটারের পাত্রের বাহিরে পারিপার্শ্বিক উষ্ণতা স্থির থাকিবে না এবং বিকিরণের সূত্র, যাহার ভিত্তিতে এই পরীক্ষা করা হইতেছে, তাহা প্রযোজ্য হইবে না।

প্রঃ তরল ও জলের শীতলনের হার (rate of cooling) কি এক ?

উঃ না, তরলের হার জলের হারের অপেক্ষা বেশী।

প্রঃ এই পরীক্ষা দ্বারা কি নিউটনের সূত্রের যাথার্থ্য প্রমাণিত হয় ?

উঃ না, কারণ এই পরীক্ষায় শীতলনের হার বনাম উষ্ণতা-পার্থক্যের লেখচিত্র অঙ্কন করা হয় নাই। নিউটনের সূত্রে, পারিপার্শ্বিক উষ্ণতা হইতে উষ্ণতা-আধিক্যের কথা উল্লেখ আছে।

প্রঃ মিশ্রণ পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের পদ্ধতি অপেক্ষা এই পদ্ধতির সুবিধা কি ?

উঃ এই পদ্ধতিতে শীতলনের জন্য সংশোধনের প্রয়োজন নাই ; দুইটি পদার্থের সংমিশ্রণের জন্য তাপের ক্ষতি (loss of heat) বা শোষণ (absorption) হয় না।

4·7 ওয়েট থার্মোমিটারের সাহায্যে কোন তরলের আপাত আয়তন প্রসারাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the coefficient of apparent expansion of a liquid by using a Weight Thermometer)

মূলনীতি (Principle) :

যদি একটি ওয়েট থার্মোমিটার বাল্বের ভিতর পরীক্ষাধীন তরলকে ভর্তি করিয়া সমগ্রটি t_1° সে ও t_2° সে-এ রাখা হয় ($t_2° > t_1°$) এবং তখন যদি তরলের ভর যথাক্রমে m_1 গ্রাম ও m_2 গ্রাম হয়, তাহা হইলে দেখান যায় যে, তরলের আপাত আয়তন প্রসারাঙ্ক (γ') হইবে।

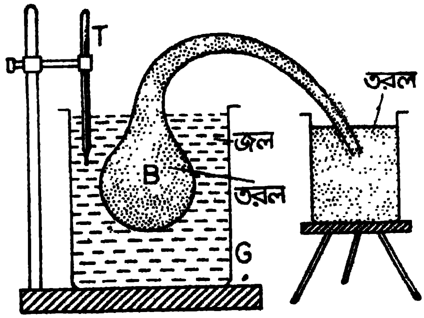
$$\gamma' = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড} \quad \cdots \quad (4.7a)$$

[এই সূত্রের প্রমাণের জন্য যে কোন তাপবিজ্ঞানের পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

ওয়েট থার্মোমিটার, বিকার, তুলাযন্ত্র, থার্মোমিটার, তাপনযন্ত্র।

ওয়েট থার্মোমিটার একটি সাধারণ কাঁচের বাল্‌ব (*B*) যাহার মুখটি সরু এবং বাঁকানো থাকে (চিত্র 4.16)। বাল্‌বটি এবং মুখের নলটি সম্পূর্ণরূপে পরীক্ষাধীন



চিত্র 4.16 : ওয়েট থার্মোমিটার

তরল দ্বারা ভর্তি করা থাকে। এই বাল্‌বটি একটি বিকারের মধ্যে (*G*) লওয়া জলের ভিতর ডুবাইয়া রাখা হয় এমনভাবে যে, বাল্‌বের বাঁকা সরু মুখটি যেন বাইরে থাকে। বিকারের জলকে উষ্ণ করিলে, বাল্‌ব-এর অভ্যন্তরস্থ তরলও উষ্ণ হইবে। একটি থার্মোমিটারের (*T*) সাহায্যে বিকারের জলের উষ্ণতা পরিমাপ করা যায়। সরু বাঁকানো নলটি অপর একটি পাত্রে পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা যায়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) একটি পরিষ্কার কাঁচের নল হইতে সরুমুখযুক্ত বাল্‌ব তৈয়ারী করিয়া (বা উহা প্রদত্ত হইলে) উহার খালি ওজন তুলাযন্ত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। মনে করা যাক্ যে এই ওজন (M_1 গ্রাম)

(ii) ঐ বাল্‌ব-এর মধ্যে পরীক্ষাধীন তরলদ্বারা ভর্তি করিতে হইবে। যেহেতু বাল্‌ব-এর মুখটি অত্যন্ত সরু, সেজন্য তরলকে উহার মধ্যে ঢুকাইবার জন্য, বাল্‌বটির সরু মুখ একটি পাত্রে রক্ষিত পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে ডুবাইয়া বাল্‌বকে পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা করিলে, প্রতি বারে কিছু কিছু পরিমাণ তরল, বাল্‌ব-এর মধ্যে ঢুকিবে। এইভাবে কয়েকবার ঐ পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া, বাল্‌বটিকে সরু মুখসহ সম্পূর্ণরূপে তরলদ্বারা পূর্ণ করিতে হইবে।

(iii) তরলপূর্ণ অবস্থায় বাল্‌বটির ওজন (M_2 গ্রাম) লওয়া হইল, ইহা হইতে খালি বাল্‌ব-এর ওজন (M_1 গ্রাম) বিয়োগ করিলে তরলের ওজন (m_1) পাওয়া যাইবে।

(iv) বাল্‌বটিকে তরলভর্তি অবস্থায় একটি বিকারের মধ্যে ঘরের উষ্ণতায় জল লইয়া তাহার মধ্যে এমনভাবে ডুবানো হইল যাহাতে বাল্‌ব-এর সরু মুখটি বাহিরে

অপর বিকারে রক্ষিত পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে ডুবানো থাকে। এই অবস্থায় জলের উষ্ণতা মাপা হইল (t_1° সেন্টি.গ্রেড)।

(v) এইবার G বিকারে অবস্থিত জলকে ক্রমশঃ উষ্ণ করা হইতে লাগিল এবং উহাকে স্ফুটনাঙ্কে (t_2° সে) আনা হইল। এই উষ্ণতা অনেকক্ষণ ধরিয়া স্থির রাখা হইল এবং প্রসারণের ফলে বাল্ব হইতে কিছু তরল বাহির হইয়া অপর বিকারের মধ্যে পড়িতে থাকিবে। যখন অতিরিক্ত তরল বাল্ব হইতে আর বাহির হইবে না, তখন সাবধানে বাল্বটিকে বিকার হইতে তুলিয়া লইতে হইবে।

(vi) বাল্ব-এর গায়ের জল মুছিয়া লইয়া, উহাকে ঘরের উষ্ণতায় (t_1°) আবার লইয়া আসা হইল। তখন উহার ওজন (তরলসমেত) আবার লওয়া হইল (M_3 গ্রাম)। এই ওজন হইতে প্রথম ওজন (M_1) বিয়োগ করিলে, t_2° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় বাল্ব-এর মধ্যে অবস্থিত তরলের ওজন (m_2 গ্রাম) পাওয়া যাইবে।

(vii) সমীকরণ (4·7a)-তে m_1, m_2, t_1 ও t_2 এর মান বসাইলে, তরলের আপাত আয়তন প্রসারাঙ্ক (γ') পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

সারণী—1

শূন্য বাল্ব-এর ওজন (M_1 গ্রাম)	বাল্ব-এর মধ্যে তরলের উষ্ণতা (°সে)	তরলসমেত (t_1°সে) বাল্ব-এর ওজন M_2 গ্রাম)	তরলের ওজন t_1°C-এ m_1 গ্রাম)	তরলসমেত (t_2°সে) বাল্ব-এর ওজন M_3 গ্রাম)	তরলের ওজন t_2°C-এ (m_2 গ্রাম)	উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে বহিষ্কৃত তরলের পরিমাণ ($m_1 - m_2$)	$\gamma' = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)}$ প্রতি °C
...	...	...	...			...	...
	...			..	...		

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (4·7a) হইতে

$$\gamma' = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)} = \quad \cdots \quad \text{প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) প্রতিবার ওজন লইবার সময়ে বাল্বটিকে ঘরের উষ্ণতায় লইয়া আসা প্রয়োজন।

(ii) যেহেতু পরীক্ষায় মূল পরিমাপ ওজন লওয়া, সেজন্য ওজনগুলি অতি সাবধানতার সহিত লওয়া প্রয়োজন।

(iii) বাল্‌ব-এর সরু মুখের অংশটি বিকারের জলের বাহিরে থাকে ঐ অংশের মধ্যকার তরল, উষ্ণ জলের উষ্ণতা প্রাপ্ত হয় না। সেজন্য পরীক্ষায় কিছু ভুল আসিতে পারে। সতর্কতামূলক হিসাবে, ঐ সরু মুখের অংশটি, যাহা বিকারের বাহিরে থাকে, তাহার দৈর্ঘ্য যথাসম্ভব কম ও সরু করিতে হইবে যাহাতে উহার মধ্যে খুব সামান্য পরিমাণ তরল থাকে।

(iv) পর্যায়ক্রমে উষ্ণ ও ঠাণ্ডা করিবার সময়ে বাল্‌ব-এর সরু খোলা মুখ যেন কখনোই দ্বিতীয় বিকারে অবস্থিত পরীক্ষাধীন তরলের বাহিরে না আসে। আসিলে বাল্‌ব-এর মধ্যে বায়ু ঢুকিয়া যাইবে, যাহা বাহির করা অত্যন্ত কষ্টসাধ্য।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ তরলের আপাত প্রসারাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উঃ [তাপবিজ্ঞানের পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্রঃ প্রকৃত প্রসারাঙ্ক হইতে ইহার পার্থক্য কি ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্রঃ উহাদের সম্পর্ক কি ?

উঃ আপাত ও প্রকৃত প্রসারাঙ্কের সম্পর্ক হইল $\gamma=\gamma'+\gamma_g$ যখন γ, γ' ও γ_g যথাক্রমে তরলের প্রকৃত এবং আপাত প্রসারাঙ্ক ও পাত্রের আয়তন প্রসারাঙ্ক।

প্রঃ ইহাকে 'ওয়েট থার্মোমিটার' বলে কেন ?

উঃ যেহেতু এই পরীক্ষায় বিভিন্ন ওজনের সাহায্যে γ' বাহির করা হয় এবং যেহেতু কোন তরলের γ' এর মান জানা থাকিলে, একটি অজানা উষ্ণতা (t_2°C—যাহা বিকারে গৃহীত তরল) নির্ণয় করা যায়, সেজন্য ইহাকে 'ওয়েট থার্মোমিটার' বলা হয়।

প্রঃ পরীক্ষাধীন তরল যদি বিশুদ্ধ না হয়, তাহা হইলে কি হইবে ?

উঃ তরলে অপবস্তু (impurities) থাকিলে, আয়তন প্রসারাঙ্কের মান বৃদ্ধি পাইবে।

প্রঃ এই পরীক্ষায় কি কোন অনুমান প্রয়োগ করা হয় ?

উঃ হ্যাঁ, এই পরীক্ষায় অনুমান করিয়া লওয়া হয় যে, উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত তরলের ঘনত্বের কোন মান পরিবর্তন হয় না—যাহা বাস্তবে সত্য নয়।

প্রঃ এই পদ্ধতিতে আপাত প্রসারাঙ্কের মান-এর বৈশিষ্ট্য কি ?

উঃ উহা গৃহীত দুইটি উষ্ণতার মধ্যে গড় আপাত আয়তন প্রসারাঙ্ক।

4·8 ডুলং-পেটিটের যন্ত্রের সাহায্যে কোন তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the coefficient of absolute expansion of a liquid by Dulong & Petit's apparatus)

মূলনীতি (Theory) :

চিত্র 4.17-এ প্রদর্শিত ডুলং-পেটিটের যন্ত্রে যদি t_1° সে ও t_2° সে-এ অবস্থিত দুইটি বাহুতে অবস্থিত তরলের উচ্চতা (উহাদের ভূমি হইতে) যথাক্রমে h_1 এবং h_2 হয় এবং যন্ত্রের উপরে দুইটি ছোট উল্লম্ব বাহুতে (t_1° সে) তরলের উচ্চতা যথাক্রমে

যদি h_1' ও h_2' হয়, তাহা হইলে উভয় বাহুর সাধারণ ভূমিতে মোট চাপ সমান হওয়ায়,

$$h_1\rho_1 g+h_1'\rho_1 g=h_2\rho_2 g+h_2'\rho_1 g \quad \cdots \quad (4'8a)$$

যখন ρ_1 ও ρ_2 যথাক্রমে t_1° সে ও t_2° সে উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব।

সুতরাং (4.8a) হইতে

$$\rho_1(h_1 g+h_1'g-h_2'g)=h_2\rho_2 g$$

বা, $$\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{h_2}{h_1-(h_2'-h_1')} \quad \cdots \quad (4.8b)$$

কিন্তু $\rho_1=\rho_2\{1+\gamma(t_2-t_1)\}$ যখন γ = তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারাঙ্ক

$$\therefore \quad 1+\gamma(t_2-t_1)=\frac{h_2}{h_1-(h_2'-h_1')} \quad \cdots \quad (4.8c)$$

কিন্তু পরীক্ষায় $h_1=h_2$

সুতরাং, যদি ছোট উলম্ব বাহুতে তরলের উচ্চতার পার্থক্য $(h_2'-h_1')$-এর মান x হয়,

তাহা হইলে $h_1=h_2=h$ (মনে করি)

এবং $h_2'-h_1'=x$

$\therefore$ সমীকরণ (4.8c) হইতে

$$1+\gamma(t_2-t_1)=\frac{h}{(h-x)}$$

বা, $$\gamma=\frac{1}{(t_2-t_1)}\left\{\frac{h}{h-x}-1\right\}$$

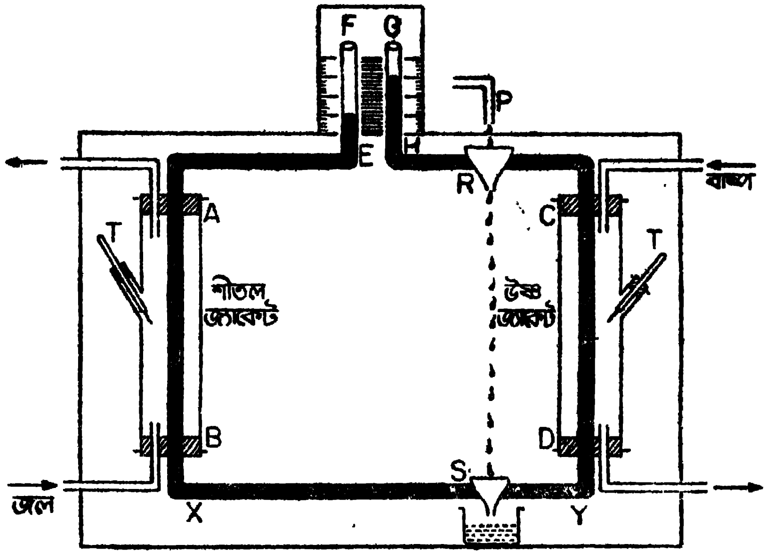
বা, $$\gamma=\frac{x}{(h-x)(t_2-t_1)} \quad \cdots \quad (4.8d)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

ডুলং-পেটিট যন্ত্র, ক্যাথিটোমিটার, থার্মোমিটার, তাপনযন্ত্র ইত্যাদি।

ডুলং-পেটিট যন্ত্রে একটি 1 সেমি ব্যাসযুক্ত কাঁচের নলকে চিত্র 4.17-এ প্রদর্শিত আকারে বাঁকানো থাকে। উহার দুইটি বড় উলম্ব বাহু (AB ও CD) যথাক্রমে দুইটি জ্যাকেটের ভিতর ঢুকানো থাকে। বামবাহু AB ঘরের উষ্ণতায় (t_1° সে) থাকে এবং ডানবাহু CD যে জ্যাকেটে থাকে, তাহার মধ্য দিয়া বাষ্প চালানো যায়। উভয় জ্যাকেটের ভিতরকার উষ্ণতা দুইটি থার্মোমিটার (T, T)-এর সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। কাচের নলের দুইপ্রান্ত দুইটি ছোট উলম্ব বাহুর আকারে (EF ও GH) থাকে। সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাঠের ফ্রেমে (XY) আটকানো থাকে। পরীক্ষাধীন তরল (সাধারণতঃ পারদ) দ্বারা সমগ্র নলটি ভর্তি করা হয়, কেবল ছোট উলম্ব নলের (EF ও GH) উপরদিকটা খালি রাখা হয়। CD বাহুর দিকে

চিত্রে প্রদর্শিত উপায়ে উপরে ও নীচের দুই অনুভূমিক বাহুতে দুইটি ব্লটিং কাগজ (R,S) লাগানো থাকে, যাহাদের উপর ঠাণ্ডা জল P হইতে ফেলিয়া উহাদিগকে



চিত্র 4.17 : ড্যুলং-পেটিট যন্ত্র

সিক্ত রাখা হয় যাহাতে CD বাহু হইতে তাপ সঞ্চালিত হইয়া আসিয়া AB বাহুর উষ্ণতা (ঘরের) পরিবর্তন করিতে না পারে।

EF ও GH বাহুর মধ্যেকার তরলের উচ্চতা একটি ক্যাথিটোমিটারের সাহায্যে দূর হইতে মাপিয়া উহাদের উচ্চতার ব্যবধান নির্ণয় করা হয়।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure) :

(i) সমগ্র যন্ত্রটিকে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে নলের বাহুগুলি ঠিক উল্লম্ব থাকে। দুইটি জ্যাকেটের মধ্য দিয়া ঘরের উষ্ণতায় জল প্রবাহিত করাইয়া, দুই জ্যাকেটের ভিতরকার উষ্ণতা (t_1° সে) নির্ণয় করা হইল

(ii) একটি তাপনযন্ত্রে যথেষ্ট পরিমাণ জল উষ্ণ করা হইল। ঐ বাষ্প একটি রবারের নলের সাহায্যে ডানবাহুর (CD) জ্যাকেটের সঙ্গে লাগাইয়া দেওয়া হইল। ইহা লাগাইবার পূর্বে, ক্যাথিটোমিটারের সাহায্যে ছোট বাহুর (EF ও GH) মধ্যেকার তরলের উচ্চতা নির্ণয় করা হইল। উহাদের দুইটি উচ্চতার পাঠের ব্যবধান শূন্য হইবে যখন উভয় জ্যাকেটই একই উষ্ণতায় (t_1°) থাকে।

(iii) পাঠ লওয়ার পর ডানদিকের জ্যাকেটের ভিতর দিয়া বাষ্পচালনা করা হইতে লাগিল এবং R, S ব্লটিং কাগজে জল ফেলিয়া উহাদের সিক্ত করা হইতে লাগিল।

সারণী—1

	সময় (মিনিট)	জ্যাকেটের উষ্ণতা: বামবাহু AB	জ্যাকেটের উষ্ণতা: ডানবাহু CD	পারদতলের পাঠ: EF বাহুর মূলস্কেল (সেমি)	EF বাহুর ভার্ণিয়ার (সেমি)	EF বাহুর মোট পাঠ (সেমি)	GH বাহুর মূলস্কেল (সেমি)	GH বাহুর ভার্ণিয়ার (সেমি)	GH বাহুর মোট পাঠ (সেমি)	EF ও GH বাহুর পাঠের ব্যবধান (x) (সেমি)	AB বাহুর দৈর্ঘ্য (h_1) (সেমি)	CD বাহুর দৈর্ঘ্য (h_2) (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য $h=\frac{h_1+h_2}{2}$ (সেমি)
ঘরের উষ্ণতায়	0	...	...	...	...	...	...	...	...				
	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	4	...	...	...	...	...	...	...	...				
	...	(t_1°সে)	(t_1°সে)										
বাষ্প চালানোর পর	0	...	...	...	...	...	...	...	...				
	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	4	...	...	...	...	...	...	...	...				
	...	(t_1°সে)	(t_2°সে)							$x=(h_2'-h_1')$			

(iv) যখন ডানদিকের বাহুর উষ্ণতা ($t_2°$ সে) স্থির থাকিবে (অন্ততঃ 10 মিনিট) তখন উভয় জ্যাকেটের উষ্ণতা ($t_1°$ সে ও $t_2°$ সে) এবং EF ও GH বাহুতে তরলের উচ্চতা ক্যাথিটোমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল।

(v) সবশেষে, AB ও CD বাহুর অক্ষরেখার উচ্চতা (উহাদের অনুভূমিক তল হইতে অর্থাৎ BC হইতে) নির্ণয় করা হইল।

(vi) সমীকরণ (4.8d)-এ রাশিগুলির মান বসাইলে, তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারাঙ্ক (γ)-এর মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

জ্যাকেটের উষ্ণতা ও ছোট বাহুতে তরলের উষ্ণতার ব্যবধান নির্ণয়

সারণী—1

[পৃষ্ঠা 131 দ্রষ্টব্য]

ক্যাথিটোমিটারের মূলস্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ··· সেমি

ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ··· সেমি

হিসাব (Calculations) :

সারণী—1 হইতে, x, h এবং $t_2°$ ও $t_1°$-এর মান লইয়া সমীকরণ (4.8d)-তে বসাইলে, γ-এর মান পাওয়া যাইবে।

$$\gamma = \frac{x}{(h-x)(t_2-t_1)} \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) বাষ্প চালানোর পূর্বে যদি উভয় বাহুতে উষ্ণতা ($t_1°$) এক না থাকে, তাহা হইলে, উভয়ের উষ্ণতা পরিমাপ করিয়া গড় উষ্ণতা ($t_1°$) গ্রহণ করিতে হইবে।

(ii) ছোট উল্লম্ববাহুদ্বয়ের (EF ও GH) ব্যাস যথাসম্ভব এক হওয়া প্রয়োজন নচেৎ পৃষ্ঠটানের জন্য কৈশিক নলের প্রভাবহেতু, তরলের উচ্চতার ব্যবধান ব্যাহত হইতে পারে।

(iii) উষ্ণতা বৃদ্ধির সময়ে উষ্ণ জ্যাকেট হইতে, বামপ্রান্তের জ্যাকেটে কিছু না কিছু তাপ সঞ্চালিত হইবেই। ইহাতে পরীক্ষালব্ধ ফলে কিছু ভুল আসিবেই। সেজন্য যথাসম্ভব ব্লটিং কাগজে জলসিঞ্চন করিয়া তাপ সঞ্চালনে বাধা সৃষ্টি করা প্রয়োজন।

(iv) সমগ্র যন্ত্রটিকে ঠিকমত উল্লম্বভাবে রাখিতে হইবে এবং ক্যাথিটোমিটারকে ঠিকমত ফোকাস করিতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্রঃ এই পদ্ধতিতে আয়তন প্রসারাঙ্ক কেন 'প্রকৃত'—'আপাত' নয় ?

উঃ এখানে পাত্রের প্রসারণ (কাঁচ) উষ্ণ বাহুতে সম্পন্ন হয়। যেহেতু দুই বাহুতে তরল উচ্চতার

সাহায্যে সাম্যচাপের মান লওয়া হয়, সেজন্য পাত্রের প্রসারণ হওয়া সত্ত্বেও চাপের মান, পাত্রের প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে না। অতএব প্রাপ্ত আয়তনপ্রসারাঙ্ক, পাত্রের প্রসারণের উপর নির্ভরশীল নয়। সেজন্য উহা 'প্রকৃত' আয়তন প্রসারাঙ্ক।

প্রঃ তরলের উচ্চতা সেন্টিমিটারের পরিবর্তে ইঞ্চিতে বা উষ্ণতা ফারেনহাইট স্কেলে পরিমাপ করিলে, প্রাপ্ত মানের কি কোন পার্থক্য হইবে?

উঃ আয়তন প্রসারাঙ্কের মান দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভরশীল নয় কিন্তু উষ্ণতার এককের উপর নির্ভর করে। ফারেনহাইট স্কেলে মান হইবে সেন্টিগ্রেড স্কেলে প্রাপ্ত মানের 5/9 অংশ।

প্রঃ অনুভূমিক নলগুলিকে ব্লটিং কাগজের সাহায্যে জলসিঞ্চিত করার সার্থকতা কি?

উঃ উষ্ণ বাহু হইতে যাহাতে অপর বাহুতে তাপ সঞ্চালিত হইয়া শীতল বাহুর উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে না পারে।

প্রঃ এই পরীক্ষায় লব্ধ মানের সূক্ষ্মতা (accuracy) কিসের উপর নির্ভর করে?

উঃ দুই জ্যাকেটের ভিতর উষ্ণতা স্থির রাখার উপর এবং ছোট বাহুতে তরলের উচ্চতার সঠিকভাবে মান নির্ধারণের উপর।

4.9 বাষ্পের (স্টীম) লীনতাপের মান নির্ণয় (Determination of Latent Heat of Steam)

মূলনীতি (Theory):

বাষ্পের ঘনীভবনের লীনতাপের মান নির্ণয় করিতে মিশ্রণ পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। নির্দিষ্ট পরিমাণ শুষ্ক বাষ্প একটি ক্যালোরিমিটারের মধ্যে গৃহীত জলের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করা হয় যাহার ফলে, ঘরের উষ্ণতায় রক্ষিত জল, বাষ্প হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া উষ্ণ হয়। চূড়ান্ত তাপমাত্রা পরিমাপ করিয়া ক্যালোরিমিতির সূত্র অনুযায়ী, বাষ্পের লীনতাপের মান নির্ণয় করা যায়।

মনে করা যাক,

m_1 = আলোড়কসহ ক্যালোরিমিটারের ওজন

s_1 = ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ

m_2 = ক্যালোরিমিটারে গৃহীত জলের ওজন

t_1 = ক্যালোরিমিটার ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা

m = ঘনীভূত বাষ্পের ভর

t = মিশ্রণের পর চূড়ান্ত তাপমাত্রা

t_2 = বাষ্পের উষ্ণতা

L = নির্ণেয় বাষ্পের লীনতাপ

সুতরাং m গ্রাম বাষ্প কর্তৃক বর্জিত তাপ

$= mL + m(t_2 - t)$ ক্যালোরি

ক্যালোরিমিটার ও জল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= (m_1 s_1 + m)(t - t_1)$ ক্যালোরি

$$\therefore \quad mL + m(t_2 - t) = (m_1 s_1 + m)(t - t_1) \qquad \cdots \quad (4.9a)$$

$$\text{বা, } L=\frac{(m_1s_1+m)(t-t_1)-m(t_2-t)}{m}$$

$$=\frac{(m_1s_1+m)(t-t_1)}{m}-(t_2-t)$$

সাধারণতঃ, উষ্ণ বাষ্পের তাপমাত্রা 100° সেন্টিগ্রেড ধরা হয়,

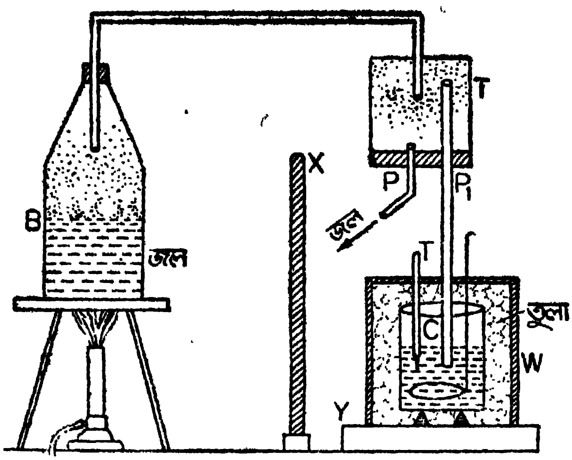
$$\text{সেজন্য } L=\frac{(m_1s_1+m)(t-t_1)}{m}-(100-t) \text{ ক্যালরি প্রতি গ্রাম} \quad (4.9b)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus):

তাপনযন্ত্র ; ক্যালোরিমিটার ; থার্মোমিটার ; তুলাযন্ত্র ; জলনিরোধক ব্যবস্থা।

এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত তাপনযন্ত্রের বহির্মুখে একটি বিশেষ ব্যবস্থা থাকে, যাহাতে শুধুমাত্র ষ্টীম (বাষ্প) ক্যালোরিমিটারের ভিতর যাইতে পারে এবং বাষ্পের সহিত বাহিত জলকণাগুলি যেন ঐ বিশেষ ব্যবস্থার ফলে ট্র্যাপের মধ্যে আটকা পড়ে।

চিত্র 4.18-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থায়, একটি তাপনযন্ত্রে (B) জল ফুটানো হয়। উৎপন্ন বাষ্প নলদ্বারা প্রবাহিত হইয়া ষ্টীম ট্র্যাপের (T) মধ্যে আসে। এখানে শুষ্ক ষ্টীম আর একটি নল (P_1)-এর সাহায্যে ক্যালোরিমিটারের (C) মধ্যে আসে। ষ্টীম ট্র্যাপের ভিতর ষ্টীম (বাষ্প) ঘনীভূত হইয়া যে জল উৎপন্ন হয়, তাহা আর একটি নল (P)-এর



চিত্র 4.18 : বাষ্পের লীনতাপ নির্ণয়

সাহায্যে বাহিরে চলিয়া যায়। ক্যালোরিমিটারটিকে একটি কাঠের বাক্সের মধ্যে রাখিয়া (W) মধ্যবর্তী স্থান তুলা দ্বারা ভর্তি করিয়া রাখা হয়। তাপনযন্ত্র ও ক্যালোরিমিটারের মধ্যে একটি কাঠের পর্দা (XY) থাকে যাহাতে তাপনযন্ত্র হইতে তাপ ক্যালোরিমিটারের মধ্যে সরাসরি আসিতে না পারে। ক্যালোরিমিটারের মধ্যে একটি থার্মোমিটার (T) ডুবানো থাকে যাহার দ্বারা ক্যালোরিমিটার ও জলের উষ্ণতা মাপা যায়।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure):

(i) তাপনযন্ত্রে জল ঠিকমত পরিমাণ লইয়া উহাকে ফুটানোর ব্যবস্থা করা হইল। উহার নির্গম নলকে যথাযথভাবে ষ্টীমট্র্যাপের মধ্যে লাগানো হইল।

(ii) ক্যালোরিমিটারের (আলোড়কসহ) খালি ওজন এবং আবার জলসহ উহার ওজন নির্ণয় করা হইল। ইহা হইতে ক্যালোরিমিটারে গৃহীত জলের ওজন পাওয়া গেল।

(iii) ক্যালোরিমিটার ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা (t_1°) থার্মোমিটার হইতে নির্ণয় করা হইল।

(iv) ষ্টীমট্র্যাপের P_1 নলটিকে ধীরে ধীরে ক্যালোরিমিটারের মধ্যে ঢুকাইয়া দেওয়া হইল এবং আলোড়কের সাহায্যে জলকে আলোড়িত করা হইতে লাগিল।

(v) যখন ষ্টীম ক্যালোরিমিটারের মধ্যে চালনার ফলে, উহার উষ্ণতা প্রায় 20° সেন্টিগ্রেড বৃদ্ধি পাইবে, তখন ষ্টীম চালনা বন্ধ করিয়া (ক্যালোরিমিটারকে সরাইয়া লইয়া) দেওয়া হইল।

(vi) ক্যালোরিমিটারকে বাহিরে আনিবার সময়ে উহার মধ্যকার জলের উষ্ণতা (t_2°) দেখিয়া লওয়া হইল।

(vii) ক্যালোরিমিটারকে ঐ অবস্থায় পুনরায় ওজন করা হইল। যে পরিমাণ ওজন উহার বৃদ্ধি পাইবে, তাহাই ঘনীভূত বাষ্পের ভর (m)।

বিকিরণ সংশোধন

ষ্টীম ঘনীভবনের ফলে উহা দ্বারা বর্জিত তাপের কিছু অংশ বিকিরিত হইয়া যায়। সেজন্য এই পরীক্ষায় বিকিরণজনিত সংশোধনের প্রয়োজন। বিকিরণের জন্য সংশোধন করিবার পদ্ধতি, সাধারণ পদ্ধতি (যাহা আপেক্ষিক তাপ পরীক্ষায় ব্যবহৃত হইয়াছে) প্রয়োগ করা যাইতে পারে। বিকল্প হিসাবে, একটি সহজ পদ্ধতিও ব্যবহৃত হইতে পারে।

যে সময়ব্যাপী ক্যালোরিমিটারের মধ্যে ষ্টীম সঞ্চালন করা হইল, তাহা (T) একটি ষ্টপ ঘড়ির সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। ষ্টীম বন্ধ করিবার পর $T/2$ সেকেণ্ড-ব্যাপী, ক্যালোরিমিটারের উষ্ণতা কিভাবে কমিতে থাকিবে তাহা আধমিনিট অন্তর লিপিবদ্ধ করা হইল। ঐ সময়ে ($T/2$ সেকেণ্ড) যদি তাপমাত্রা, চরম তাপমাত্রা হইতে (t°) মোট (t'°) কমিয়া যায়, তাহা হইলে চরম তাপমাত্রা হইবে (সংশোধনের পর) $(t+t')$° সেন্টিগ্রেড। সুতরাং, মিশ্রণের পর চূড়ান্ত তাপমাত্রা ধরিতে হইবে $(t+t')$° সে।

ফল (Results) :

ক্যালোরিমিটার ও উহার অন্তর্বস্তুর ওজন নির্ণয়

সারণী—1

ক্যালোরি-মিটার+আলোড়কের ওজন (m_1 গ্রাম)	ক্যালোরি-মিটার+আলোড়ক+জলের ওজন (M গ্রাম)	জলের ওজন $(M-m_1)$ $=m_2$ গ্রাম	ক্যালোরি-মিটার+আলোড়ক+জল+ঘনীভূত বাষ্পের ওজন (M_1 গ্রাম)	ঘনীভূত বাষ্পের ওজন (M_1-M) $=m$ গ্রাম	ক্যালোরি-মিটারের আপেক্ষিক তাপ (S_1)
...	...	...	...	...	...

সময়ের সহিত জলের উষ্ণতার পরিবর্তনের হার

সারণী—2

উষ্ণতা লক্ষ্য করিবার সময়	ক্যালোরি-মিটারে জলের উষ্ণতা (°সে)	বিকিরণের জন্য উষ্ণতা-হ্রাসের পরিমাণ	সংশোধিত চূড়ান্ত তাপমাত্রা (°সে)
(i) বাষ্প চালনার পূর্বে	...(t_1°সে)		
(ii) T সেকেণ্ডব্যাপী বাষ্প চালনার পর	(t°সে)	$(t^\circ - t_3^\circ)$ সে $=t'^\circ$সে	$(t^\circ + t'^\circ)$ সেন্টিগ্রেড
(iii) $T/2$ সেকেণ্ড আরো অতিরিক্ত সময় পরে	..(t_3°সে)		

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (4.9b) হইতে

$$L=\frac{(m_1s_1+m)\{(t^\circ-t_1^\circ)\}}{m}-(100-t^\circ)$$

কিন্তু বিকিরণজনিত সংশোধনের পর, চরম উষ্ণতার মান হইবে $(t^\circ+t'^\circ)$ সে, সুতরাং t°-এর স্থানে উহা বসাইয়া,

$$L=\frac{(m_1s_1+m)\{(t^\circ+t'^\circ)-t_1^\circ\}}{m}-(100-t^\circ-t'^\circ) \text{ ক্যালোরি প্রতি গ্রাম।}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) শুষ্ক বাষ্প ক্যালোরিমিটারে না আসিলে, হিসাবে অনেক ভুল হয়। সেজন্য, ষ্টীমট্র্যাপ সম্বন্ধে বিশেষ সাবধান হওয়া উচিত।

(ii) ক্যালোরিমিটারে জলের উষ্ণতাবৃদ্ধি যেন 20° সেন্টিগ্রেডের বেশী না হয়। সেক্ষেত্রে নিউটনের বিকিরণ সূত্র খাটিবে না।

(iii) ব্যারোমিটারের চাপ লইয়া জলের স্ফুটনাঙ্কের (উষ্ণতা) প্রয়োজনীয় সংশোধন করিয়া লওয়া বাঞ্ছনীয়।

(iv) ক্যালোরিমিটারে বাষ্পচালনার পরে, উহা সরাইয়া লইয়া তবে তাপনযন্ত্রে তাপপ্রয়োগ বন্ধ করিতে হইবে নচেৎ, আগে তাপ প্রয়োগ বন্ধ করিলে, ক্যালোরিমিটার হইতে জল ষ্টীমট্র্যাপের ভিতর চলিয়া যাইতে পারে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ লীনতাপ কাহাকে বলে এবং উহার একক কি ?

উঃ পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।—একক ; ক্যালরি প্রতি গ্রাম।

প্রঃ চাপ বৃদ্ধি করিয়া জলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি করিলে তখন বাষ্পের লীনতাপ কি একই থাকিবে ?

উঃ না, স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পাইলে তখন লীনতাপের মান কমিয়া যায়।

প্রঃ কোন উষ্ণতায় জল ফুটিলে উহার লীনতাপের মান শূন্য হইবে ?

উঃ রেণোর সূত্র অনুযায়ী $L=606{\cdot}5-0{\cdot}695t$ যখন t°সে জলের উষ্ণতা। এই সূত্র হইতে, লীনতাপের মান শূন্য হয় যখন উহার উষ্ণতা হয় 872·8° সেন্টিগ্রেড।

প্রঃ এই পরীক্ষায় মূল ত্রুটি কি কি হইতে পারে ?

উঃ 'সতর্কতা' দ্রষ্টব্য—উহা ব্যতীত, যেহেতু ঘনীভূত বাষ্পের ভর খুব সামান্য সেজন্য যথেষ্ট পরিমাণ বাষ্পকে ঘনীভূত না করিলে ঐ ওজন পরিমাপে বিশেষ ত্রুটি হইতে পারে।

4.10 শার্লের পদ্ধতির সাহায্যে সুপরিবাহী একটি ধাতব দণ্ডের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the thermal conductivity of a good conductor by Searle's Method)

মূলনীতি (Theory) :

যখন কোন একটি ধাতবদণ্ডের (A প্রস্থচ্ছেদযুক্ত) একটি উষ্ণ প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত প্রত্যেক স্তরের উষ্ণতা ক্রমহ্রাসমান অবস্থায় স্থির হইয়া থাকে; তখন ঐ দণ্ডের যে কোন দুইটি স্তরের, যাহার মধ্যে দূরত্ব d সেমি এবং যাহাদের উষ্ণতা যথাক্রমে θ_1°সে ও θ_2°সে ($\theta_1>\theta_2$), একটি হইতে অপরটিতে t সেকেণ্ডে প্রবাহিত তাপের পরিমাণ (Q) হইবে

$$Q=\frac{KA(\theta_1-\theta_2)t}{d} \qquad \cdots \quad (4.10a)$$

যখন K=ধাতব দণ্ডের উপাদানের তাপপরিবাহিতাঙ্ক অর্থাৎ, একক প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট, একক দৈর্ঘ্যের মধ্যে যদি তাপমাত্রার পার্থক্য 1° সেন্টিগ্রেড হয়, তাহা হইলে, প্রতি সেকেণ্ডে উহার মধ্যে K ক্যালোরি তাপ পরিবাহিত হইবে।

এখন দণ্ডটির শীতলপ্রান্তে যদি জল প্রবাহিত করিয়া ঐ প্রান্তের তাপমাত্রা স্থির রাখা হয়, তাহা হইলে ঐ প্রবাহিত তাপ (Q) জল কর্তৃক গৃহীত হইবে। যদি নলের মধ্য দিয়া t সেকেণ্ডে M গ্রাম জল প্রবাহিত হইয়া, জলের উষ্ণতা ঐ তাপের প্রভাবে θ_3°সে হইতে θ_4° সেন্টিগ্রেডে ($\theta_3<\theta_4$) উন্নীত হয়, তাহা হইলে,

$$Q=\frac{KA(\theta_1-\theta_2)t}{d}=M(\theta_4-\theta_3) \quad \cdots \quad (4.10b)$$

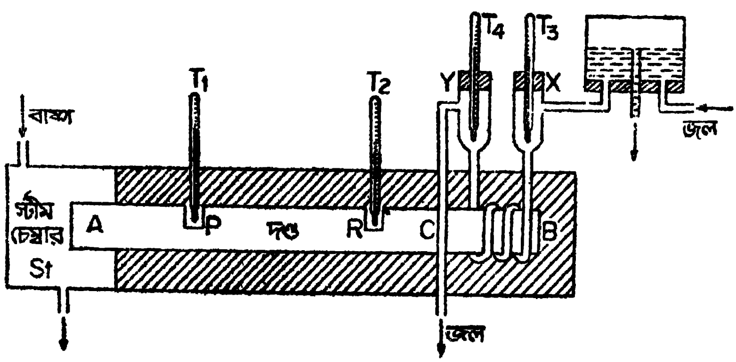
বা, $$K=\frac{Md}{At}\cdot\frac{\theta_4-\theta_3}{\theta_1-\theta_2} \text{ ক্যালোরি প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেমি প্রতি °সে} \quad \cdots \quad (4.10c)$$

এই সমীকরণের ডানদিকের রাশিগুলি পরিমাপ করিলে, দণ্ডের তাপপরিবাহিতাঙ্ক (K)-এর মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus):

শার্লের যন্ত্র ; থার্মোমিটার (4টি) ; তাপনযন্ত্র ; জলপ্রবাহ ব্যবস্থা।

শার্লের যন্ত্রে একটি দীর্ঘ প্রায় 30 সেমি লম্বা ও 5 সেমি ব্যাসবিশিষ্ট সুপরিবাহী ধাতবদণ্ড AB থাকে (চিত্র 4.19)। উহার একপ্রান্তে (A) একটি ষ্টীমচেম্বার (St) আছে যাহার মধ্য দিয়া বাষ্পচালনা করিয়া A প্রান্তকে সর্বদা বাষ্পের উষ্ণতায় রাখা



চিত্র 4.19 : শার্লের যন্ত্র

হয়। দণ্ডের অপরপ্রান্তে (B) একটি তামার নল (C) জড়ানো থাকে যাহার মধ্য দিয়া জল প্রবাহিত করা হয়। যে পাত্র হইতে শীতল জল আসিয়া ঐ নলের মধ্যে প্রবেশ করিবে, সেই পাত্রে জলের উচ্চতা স্থির রাখিয়া, সর্বদা স্থির চাপে জল প্রবাহিত করা হইয়া থাকে। ঐ নলের (C) দুইটি মুখ থাকে। একটি মুখ দিয়া

(X) শীতল জল প্রবেশ করে এবং অপর মুখ (Y) দিয়া ঐ জল দণ্ড হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া উষ্ণ হইয়া নির্গত হয়। দুইটি থার্মোমিটারের (T_3 ও T_4) সাহায্যে, জলের প্রবেশ ও নির্গম অবস্থায় তাপমাত্রা (θ_3 ও θ_4) পাওয়া যায়। নির্গত জল একটি নির্দিষ্ট সময়ব্যাপী একটি মাপনচোঙের সাহায্যে সংগ্রহ করা হয়। AB দণ্ডের মাঝামাঝি স্থানে (P, R) দুইটি কাটা গর্তের ভিতর দুইটি থার্মোমিটার (T_1 ও T_2) লাগানো থাকে যাহারা দণ্ডের উপর একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের মধ্যে (d) দুইটি স্তরের উষ্ণতা (θ_1 ও θ_2) নির্দেশ করে। সমগ্র যন্ত্রটি একটি কুপরিবাহী ফেল্ট বা তুলার দ্বারা আচ্ছন্ন থাকে।

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure):

(i) তাপনযন্ত্রে জল ফুটাইবার যথাযথ ব্যবস্থা করা হইল এবং ঐ সময়ে, নিম্নোক্ত পরিমাপগুলি সম্পন্ন করা হইল।

(ii) ধাতবদণ্ডটিকে বাহির করিয়া বিভিন্ন স্থানে উহার ব্যাস একটি স্লাইড ক্যালিপার্স দ্বারা নির্ণয় করা হইল। অধিকাংশ ক্ষেত্রে শার্লের যন্ত্রে ব্যাস প্রদত্ত থাকে। অনুরূপভাবে, দণ্ডে প্রদত্ত দুইটি নির্দিষ্ট গর্তের মধ্য (P ও R) দূরত্ব নির্ণয় করা হইল। এই পরিমাপের সময়ে, গর্ত দুইটির মধ্যবিন্দুদ্বয়ের ভিতর দূরত্ব (d) লইতে হইবে।

(iii) থার্মোমিটার চারিটিকে তাহাদের যথাস্থানে স্থাপন করিবার পূর্বে তাহাদের দ্বারা প্রদত্ত ঘরের প্রাথমিক উষ্ণতার পরিমাপ এক কিনা, তাহা পরীক্ষা করিয়া লওয়া প্রয়োজন। এক না হইলে, যথাযথ সংশোধন প্রয়োগ করিতে হইবে।

(iv) দণ্ডের বামপ্রান্ত A তাপনযন্ত্রের রবারের নলের সহিত যথাযথভাবে যুক্ত করা হইল যাহাতে উৎপন্ন বাষ্প ষ্টীমচেম্বারে (St) প্রবেশ করে। যখন A প্রান্তটি বাষ্পের উষ্ণতাপ্রাপ্ত হইবে এবং তাপের স্থিরপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে তখন থার্মোমিটার (T_1 ও T_2) স্থির তাপমাত্রা দেখাইবে। এই অবস্থায় অন্ততঃ 5 মিনিট থাকিলে, ঐ তাপমাত্রা লিপিবদ্ধ করা হইল।

(v) এই অবস্থায় দণ্ডের অপরপ্রান্তে তামার নলের মধ্য দিয়া জল প্রবাহিত করা হইতে লাগিল এবং একটি নির্দিষ্ট সময়ে (t) জলপ্রবাহ সংগ্রহ করা হইল। ঐ সময়ে জলের প্রবেশ ও নির্গম তাপমাত্রা থার্মোমিটার (T_3 ও T_4) হইতে লিপিবদ্ধ করা হইল।

(vi) জলপ্রবাহের হার পরিবর্তন করিয়া T_3 ও T_4 থার্মোমিটার দুইটির মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য আরো দুইবার পরিবর্তন করিয়া, আরো দুইবার পাঠ লওয়া হইল। এই সময়ে সময়ও (t) পরিবর্তন করিয়া, জলপ্রবাহের মাপ (M) পরিবর্তন করিয়া পাঠ লওয়া যাইতে পারে।

(vii) সমগ্র রাশিগুলির পরিমাপ করা সম্পন্ন হইলে, সমীকরণ (4.10c)-তে যথাযথ মান বসাইয়া, দণ্ডের উপাদানের তাপপরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

ফল (Results) :

দণ্ডের মধ্যেকার নির্দিষ্ট দূরত্ব ও দণ্ডের ব্যাস নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	P ও R দুইটি গর্তের মধ্যেকার দূরত্ব (d সেমি)	দণ্ডের ব্যাস: মূলস্কেল পাঠ (সেমি)	ভার্ণিয়ার স্কেলের মান (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি)	গড় ব্যাস (r সেমি)	গড় প্রস্থচ্ছেদ (A বর্গসেমি)	P ও R দুইটি গর্তের মধ্যেকার গড় দূরত্ব (d) সেমি
1	...	...	...	...			
2	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...			

থার্মোমিটারের পাঠ (T_1, T_2, T_3 ও T_4-এর)

সারণী—2

	সময় (মিনিট)	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	থার্মোমিটারের পাঠ: T_1 (θ_1)	T_2 (θ_2)	T_3 (θ_3)	T_4 (θ_4)	T_1 ও T_2-এর উষ্ণতার পার্থক্য $(\theta_1-\theta_2)$°সে	T_4 ও T_3-এর উষ্ণতার পার্থক্য $(\theta_4-\theta_3)$°সে
বাষ্প প্রবেশের পূর্বে	0	1	...	...	...	...		
	2	2	...	...	...	...		
	4	3	...	...	...	...		
	6	4	...	...	...	...		
	8	5	...	...	...	...		
বাষ্প প্রবেশ-কালে	0	1	...	...	...	...		
	2	2	...	...	...	...		
	4	3	...	...	...	...		
	6	4	...	...	...	...		
	8	5	...	...	...	...		

[জলপ্রবাহের হার (M) ; সময় (t) ; (θ_3 ও θ_4)-এর মান পরিবর্তন করিয়া পাঠ লইলে, অনুরূপ সারণী পুনরায় করিতে হইবে।]

সংগৃহীত জলের পরিমাপ (মাপনচোঙের সাহায্যে)

সারণী—3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জল সংগ্রহের সময় (t) (সেকেণ্ড)	সংগৃহীত জলের আয়তন (ঘনসেমি)	গড় আয়তন (ঘনসেমি)	জলের ঘনত্ব (গ্রাম/ ঘনসেমি)	জলের ভর (M গ্রাম)
I	... ...	... ...	...	...	...
II	... ...	... ...	...	...	...
III	... ...	... ...	...	...	...

দণ্ডের তাপপরিবাহিতাঙ্কের মান নির্ণয়

সারণী—4

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	সংগৃহীত জলের ভর (M গ্রাম)	জল সংগ্রহের সময় (t সেকেণ্ড)	$(\theta_1-\theta_2)$ (°সে)	$(\theta_4-\theta_3)$ (°সে)	K-এর মান ($C.G.S.$ একক)	গড় K-এর মান ($C.G.S.$ একক)
I	...	...	...	...	...	
II	...	...	...	...	...	...
III	...	...	...	...	...	

হিসাব (Calculations) :

সমীকরণ (4.10c) হইতে

$K=\dfrac{M.d}{A.t}\times\dfrac{\theta_4-\theta_3}{\theta_1-\theta_2}$ ক্যালোরি প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেমি প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ($C.G.S.$ এককে)।

সতর্কতা (Precautions):

(i) থার্মোমিটার চতুষ্টয়ের মধ্যে কোন প্রাথমিক পাঠে ভুল আছে কি না, তাহা প্রথমেই নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে, থাকিলে যথাযথ সংশোধন প্রয়োগ করা প্রয়োজন।

(ii) সমগ্র উষ্ণতাগুলি থার্মোমিটারে অন্ততঃ 5 মিনিট স্থায়ীভাবে প্রদর্শিত হইলে, তবেই উহাদের পাঠ লওয়া প্রয়োজন।

(iii) জলসংগ্রহের সময়ে বিশেষ সাবধানতা অবলম্বন করা প্রয়োজন যাহাতে, জলের কোন অংশ যেন বাহিরে না পড়িয়া যায়।

(iv) T_3 ও T_4 থার্মোমিটারে উষ্ণতার পার্থক্য অন্ততঃ 8° হইতে 10° মত হওয়া প্রয়োজন—পক্ষান্তরে, সংগৃহীত জলের পরিমাণ যথেষ্ট হওয়া প্রয়োজন। এর ফলে লব্ধ ফলে ভুলের পরিমাণ হ্রাস পাইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ পদার্থের তাপপরিবাহিতাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উঃ মূলনীতি দ্রষ্টব্য।

প্রঃ উষ্ণতা পরিবাহিতাঙ্কের (thermometric conductivity) সহিত উহার পার্থক্য কি ?

উঃ যদি পদার্থের ঘনত্ব ρ ও আপেক্ষিক তাপ s হয়, তাহা হইলে উহার উষ্ণতা পরিবাহিতাঙ্ক হইবে $K/\rho s$ যখন K-তাপপরিবাহিতাঙ্ক।

প্রঃ তাপপরিবাহিতাঙ্ক পদার্থের কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ ইহা পদার্থের আয়তন বা আকারের উপর নির্ভর করে না—শুধুমাত্র উহার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

প্রঃ কুপরিবাহী পদার্থের K-এর মান কি এই পরীক্ষাদ্বারা নির্ণয় করা সম্ভব ?

উঃ না, সেক্ষেত্রে তাপপরিবহন কম হওয়ায়, $(\theta_1 - \theta_2)$-এর মান খুব বেশী হইবে এবং বিকিরণজনিত ভুলের মাত্রা বেশী হইবে।

প্রঃ দণ্ডের চারিদিকে ফেল্ট দেওয়া হয় কেন ?

উঃ ফেল্ট তাপের কুপরিবাহী, সেজন্য যাহাতে দণ্ডের দৈর্ঘ্যের সমকোণে তাপ প্রবাহিত হইতে না পারে, সেজন্য এই ব্যবস্থা লওয়া হয়।

প্রঃ এই পদ্ধতিতে আরো কি কি উন্নত ব্যবস্থা লওয়া যাইতে পারে ?

উঃ ষ্টীমচেম্বের পরিবর্তে বৈদ্যুতিক হিটার ব্যবহার করা যাইতে পারে এবং তাহাতে উৎপন্ন এবং প্রযুক্ত তাপের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়। আর, থার্মোমিটারের পরিবর্তে থার্মোকাপলের সাহায্যে দণ্ডের বিভিন্ন অংশে উষ্ণতা নির্ণয় করা যায়।

প্রঃ দণ্ডটি মোটা বা সরু, কি হওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ সরু দণ্ডের ক্ষেত্রে ভুলের সম্ভাবনা অনেক বাড়িয়া যায়। সেজন্য মোটা দণ্ড লওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রঃ উষ্ণতার নতিমাত্রা (gradient) কাহাকে বলে ?

উঃ যদি d দূরত্বের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য হয় $(\theta_1 - \theta_2)$, তাহা হইলে ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে উষ্ণতার নতিমাত্রা $\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{d}\right)$।

প্রঃ জলপ্রবাহের জন্য কি স্থিরচাপের ব্যবস্থা করা প্রয়োজন ?

উঃ হ্যাঁ, নচেৎ চাপ পরিবর্তনে জলপ্রবাহের হার পরীক্ষাকালে পরিবর্তিত হইয়া যাইবে এবং তাহার ফলে সংগৃহীত জলের পরিমাণে ভুল আসিবে।

পঞ্চম অধ্যায়

শব্দবিজ্ঞানের পরীক্ষাসমূহ

(Experiments on Sound)

5·1 অনুনাদীস্তম্ভের সাহায্যে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় (Determination of the Velocity of Sound in air by Resonance Column)

মূলনীতি (Theory) :

একমুখ খোলা একটি নলের মধ্যে অবস্থিত বায়ুস্তম্ভের খোলা মুখে একটি কম্পনশীল সুরশলাকা (কম্পাঙ্ক n) ধরিলে, যদি বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $\lambda/4$ হয় (যখন λ সুরশলাকা কর্তৃক উৎপন্ন সুরের তরঙ্গদৈর্ঘ্য), তাহা হইলে অনুনাদের সৃষ্টি হইবে। মুখখোলা নলের বদ্ধদিকে নিস্পন্দ বিন্দু (node) এবং খোলামুখের কিছু বাইরে সুস্পন্দ বিন্দু (antinode) উৎপন্ন হইবে। যদি বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l হয়, তাহা হইলে $\lambda/4 = l + x$ যখন x-কে প্রান্তিক সংশোধন (end correction) বলা হয় এবং ইহার মান প্রায় $0{\cdot}6r$ যখন r নলের ব্যাসার্ধ।

যদি বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ক্রমশঃ বৃদ্ধি করা হয়, তাহা হইলে পুনরায় আর একটি দৈর্ঘ্যে অনুনাদ পাওয়া যাইবে যখন $\frac{3\lambda}{4} = l' + x$ ($\lambda l'$-এই নূতন দৈর্ঘ্য)

$$\text{সুতরাং } l' + x = \frac{3\lambda}{4}$$

$$\text{এবং } l + x = \lambda/4$$

$$\text{বা } (l' - l) = \frac{\lambda}{2} \qquad \text{বা } \lambda = 2(l' - l) \qquad \cdots \qquad (5.1a)$$

সুতরাং, দুইটি দৈর্ঘ্য লইলে, প্রান্তিক সংশোধনের (x) প্রয়োজন হয় না। এখন যদি ঘরের উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পে, শব্দের গতিবেগ Vm হয়, তাহা হইলে,

$$Vm = nl = 2n(l' - l) \qquad \cdots \qquad (5.1b)$$

$$\text{আবার, } V_0 = Vm\sqrt{\frac{P - 0{\cdot}378f}{P}}\left(1 - \frac{\alpha t}{2}\right) \qquad \cdots \qquad (5.1c)$$

যখন V_0 = শুষ্ক বায়ুতে 0°সে উষ্ণতায় শব্দের গতিবেগ

t = ঘরের উষ্ণতা (°সেন্টিগ্রেড)

P = বায়ুর চাপ পরীক্ষাকালে

f = জলীয় টান (aqueous tension) t°সে উষ্ণতায় বা সংপৃক্ত বাষ্পচাপ

এবং α =0·00366 প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।

সুতরাং সমীকরণ (5.1b) ও (5.1c) হইতে ঘরের উষ্ণতায় এবং 0° সে-এ শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করা যায়।

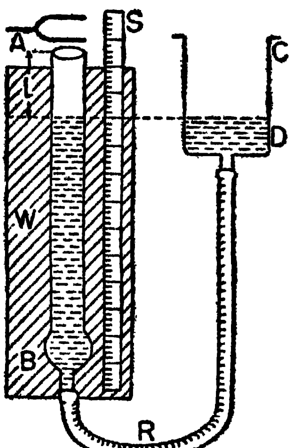
যন্ত্রাবলী (Apparatus):

অনুনাদী নল ; সুরশলাকা ; নরম রাবারের প্যাড ; থার্মোমিটার ; ব্যারোমিটার।

অনুনাদী বায়ুস্তম্ভে একটি মোটা কাঁচের নল *AB*-র নীচে সরু প্রান্তে একটি পুরু রবারের নল (*R*)-এর সাহায্যে আর একটি কাচের নল (*CD*) বা ধাতবপাত্র জলাধার হিসাবে যুক্ত থাকে। রবারের নল দুইটি এবং *AB* ও *CD* (চিত্র 5.1) নলের কিয়দংশ জলে পূর্ণ থাকে। একটি কাঠের ফ্রেমে (*W*) *AB* নলটি আটকানো থাকে কিন্তু *CD* পাত্রটি প্রয়োজনমত উঠানো-নামানো যায়। একটি স্কেল (*S*) *AB* নলের পার্শ্বে লাগানো থাকে যাহা হইতে, *AB* নলে জলের তলের পাঠ লওয়া যায়। এই নলে জলের তলের উপরের বায়ুপূর্ণ অংশটি অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ হিসাবে কাজ করে।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure):

(i) *CD* নলটিকে যথাসম্ভব উপরে উঠাইয়া, *AB* নলের ভিতর জলকে প্রায় উপর প্রান্ত পর্যন্ত লওয়া হইল।



চিত্র 5.1 : অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ

(ii) একটি সুরশলাকা (যাহার কম্পাঙ্ক জানা আছে) লইয়া উহাকে রাবারের নরম প্যাডে আঘাত করিলে উহাতে কম্পনের সৃষ্টি হইবে। ঐ কম্পনশীল সুরশলাকাকে *AB* নলের উপরের খোলা মুখের নিকট ধরা হইল এমনভাবে যাহাতে, সুরশলাকার কম্পন *AB* নলের দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল হয়।

(iii) এইবার, *CD* জলাধারকে ক্রমশঃ নীচে নামানো হইতে লাগিল। ইহাতে *AB* নলের জলতল ক্রমশঃ নামিতে থাকিবে। একসময়ে, *AB* নলের মধ্যকার বায়ুস্তম্ভের সহিত সুরশলাকার কম্পন অনুনাদ সৃষ্টি করায় শব্দ বেশ প্রবলভাবে হইবে। এই পাঠ লওয়া হইল। *CD* নলকে সামান্য উঠাইয়া বা নামাইয়া, *AB* নলে জলের তল ঠিক এমনস্থানে রাখা হইল, যাহাতে, সেইস্থানে শব্দের প্রাবল্য সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য স্কেল হইতে এই অবস্থায় লওয়া হইল। ইহার মান l।

(iv) আবার, *CD* নলকে ক্রমশঃ নীচে নামানো হইল এবং আবার আর একটি স্থানে (মোটামুটি প্রথম দৈর্ঘ্যের 3 গুণ দূরে) সুরশলাকার কম্পনে শব্দের প্রাবল্য খুব

বেশী দেখা যাইবে, পূর্বের ন্যায়। অনুরূপভাবে, CD নলকে উঠাইয়া-নামাইয়া এই স্থানে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে নির্ণয় করা হইল। ইহার মান l'।

(v) পরীক্ষাগারে পরীক্ষাকালে ঘরের উষ্ণতা (t°সে) থার্মোমিটারের সাহায্যে মাপা হইল।

(vi) ব্যারোমিটার হইতে বায়ুর চাপ (P) এবং t°সে উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের মান রেগোর তালিকা হইতে নির্ণয় করা হইল।

(vii) সমীকরণ (5.1b) ও (5.1c) হইতে, ঘরের উষ্ণতায় এবং 0°সে উষ্ণতায় শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করা হইল।

ফল (Results) :

পরীক্ষার প্রারম্ভে ঘরের উষ্ণতা (t_1°)= ... °সে

" শেষে " " (t_2°)= ... °সে

পরীক্ষাগারে গড় উষ্ণতা (t°) $= \dfrac{t_1° + t_2°}{2} =$ ... °সে

স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক= ... Hz (প্রদত্ত)।

অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয়

সারণী—1

	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য			স্বর-শলাকার কম্পাঙ্ক	শব্দের গতিবেগ $V_m = 2n \times (l'-l)$ সেমি/সেকেণ্ড (t° সেণ্টিগ্রেড)	শব্দের গতিবেগ V_0 (0°সে উষ্ণতায়) সেমি/সেকেণ্ড
		নল তুলিবার সময়ে (সেমি)	নল নামাইবার সময়ে (সেমি)	গড় (সেমি)			
প্রথম অনুনাদ	1	...	...				
	2	...	...	... (l)			
	3	...	...				
দ্বিতীয় অনুনাদ	4	...	...		... (n) হার্ৎজ	...	...
	5	...	...	... (l')			
	6	...	...				

ব্যারোমিটার হইতে বায়ুর চাপ (P)= সেমি

t° সে উষ্ণতায় বায়ুর সম্পৃক্ত চাপ (f) সেমি

(রেগোর তালিকা হইতে)

হিসাব (Calculation) :

ঘরের উষ্ণতায় শব্দের গতিবেগ (সমীকরণ 5.1b হইতে)

$Vm = 2n(l' - l) =$ ... সেমি/সেকেণ্ড

0° সে উষ্ণতায় শব্দের গতিবেগ (সমীকরণ 5.1c হইতে)

$$V_0 = Vm\sqrt{\frac{P - 0{\cdot}378f}{P}}\left(1 - \frac{\alpha t}{2}\right)$$

$=$ ... সেমি/সেকেণ্ড

আলোচনা (Discussions):

দুইটি অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয় না করিয়াও এই পরীক্ষা সম্পন্ন করা যায়। সেক্ষেত্রে, একটি অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিয়া এবং প্রান্তিক ত্রুটির মান (x) নির্ণয় করিয়া, শব্দের গতিবেগ পাওয়া যায়। সেক্ষেত্রে, কার্যকরী সূত্র হইবে, $V = 4n(l + x)$, যখন l = অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য এবং x = প্রান্তিক ত্রুটি, যাহার মান ($0{\cdot}6r$) যদি কাচের নলের ভিতরের ব্যাসার্ধের মান হয় r।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) ঠিক বায়ুস্তম্ভের কোন্ দৈর্ঘ্যে অনুনাদ উৎপন্ন হয়, যেহেতু তাহা শব্দের প্রাবল্যের মান শুনিয়া স্থির করা হয়, সেজন্য ঐ দৈর্ঘ্যের মান অত্যন্ত সতর্কতার সহিত নির্ণয় করা প্রয়োজন। এজন্য সম্ভাব্য দৈর্ঘ্যের উপরে নীচে শব্দের প্রাবল্যের মান কয়েকবার শুনিয়া সঠিক স্থানটি নির্ণয় করা উচিত।

(ii) জলের বক্রতলের সহিত স্পর্শক রেখায় (tangent) স্কেলের যে পাঠ পাওয়া যায়, সেই পাঠ লওয়া উচিত।

(iii) সুরশলাকার কম্পন যেন স্বাভাবিক কম্পন হয়।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ বায়ুতে শব্দের বেগ কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ উহা উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধিতে শব্দের বেগ বায়ুতে 61 সেমি করিয়া বৃদ্ধি পায়। চাপের উপর শব্দের বেগ নির্ভর করে না কিন্তু বায়ুর আর্দ্রতা বাড়িলে বেগ বৃদ্ধি পায়।

প্রঃ বায়ুর পরিবর্তে নলে অন্য কোন গ্যাস থাকিলে কি অনুনাদী দৈর্ঘ্যের কোন পরিবর্তন হইত ?

উঃ হাঁ, যেহেতু বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের গতিবেগ বিভিন্ন এবং বায়ুতে বেগের মান হইতে পৃথক, সেহেতু বিভিন্ন গ্যাসে, অনুনাদী দৈর্ঘ্যের মানও ভিন্ন হইবে।

প্রঃ পরবশ কম্পন ও অনুনাদের মধ্যে পার্থক্য কি ?

উঃ পরবশ কম্পনে যখন মূলবস্তু ও কম্পিত বস্তুর কম্পাঙ্ক এক হয়, তখন অনুনাদের সৃষ্টি হয়। সুতরাং, অনুনাদ পরবশ কম্পনের একটি বিশেষ ধরন, যখন পূর্বোক্ত সর্ত পূরণ হয়।

প্রঃ বায়ুস্তম্ভে কম্পন কি ধরনের ?

উঃ কম্পন অনুদৈর্ঘ্য এবং স্থানু।

প্রঃ স্থানুতরঙ্গ হইলে, সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান কোথায় ?

উঃ বদ্ধপ্রান্তে অর্থাৎ জলতলে নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলামুখে সুস্পন্দ বিন্দু থাকে।

প্রঃ এই পরীক্ষার সাহায্যে কি কোন অজানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায় ?

উঃ হ্যাঁ, প্রথমে একটি জানা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সুরশলাকার সাহায্যে শব্দের গতিবেগ (V)-এর মান নির্ণয় করিতে হইবে। তাহার পর ঐ V-এর মান বসাইয়া, অজানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকার ক্ষেত্রে অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিয়া একই সূত্র হইতে, n-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

প্রঃ এই পরীক্ষায় সুরশলাকা ও বায়ুস্তম্ভের শব্দগুলি সুর (tone) না স্বর (note) ?

উঃ সুরশলাকার ক্ষেত্রে নিঃসৃত শব্দ সুর (tone) কিন্তু বায়ুস্তম্ভনিঃসৃত শব্দের মধ্যে একাধিক কম্পাঙ্ক থাকে বলিয়া, ঐ শব্দ স্বর (note)।

5·2 একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক সনোমিটারের সাহায্যে নির্ণয় (Determination of the Frequency of a Tuning Fork with the help of a Sonometer)

মূলনীতি (Theory) :

যদি একটি নমনীয় l সেমি দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারকে দুই পার্শ্বে টান করিয়া আটকাইয়া অল্প টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয়, তাহা হইলে ঐ তারের ভিতর তির্যক তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে এবং ঐ তরঙ্গের গতিবেগ হইবে $V=\sqrt{T/m}$, যেখানে T = তারের টান এবং m = তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর। এই তরঙ্গ তারটি বরাবর প্রবাহিত হইয়া, তারটির দুই প্রান্তে স্থিরবিন্দু হইতে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসিবে এবং তারের ভিতর স্থানু তরঙ্গের সৃষ্টি করিবে। তারের দুই প্রান্তবিন্দু যদি নিস্পন্দ বিন্দু হয় এবং উহার মধ্যবর্তী স্থানে যদি একটিমাত্র সুস্পন্দ বিন্দু থাকে, তাহা হইলে ঐ তারের মধ্যে কম্পনে মূল সুর উৎপন্ন হইবে। যদি কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য l সেমি হয়, তাহা হইলে এক্ষেত্রে $l=\lambda/2$ অর্থাৎ $\lambda=2l$

কিন্তু, $V=n\lambda=2nl$ যখন n = কম্পাঙ্ক

$$\therefore\ n=\frac{V}{2l}=\frac{1}{2l}\sqrt{T/m} \quad \cdots \quad (5.2a)$$

যদি তারটিকে টানটান রাখিবার জন্য মোট ভার M গ্রাম চাপানো হয়, তাহা হইলে তারের টান $T=Mg$ যখন g = অভিকর্ষজ ত্বরণ

$$\therefore\ n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad \cdots \quad (5.2b)$$

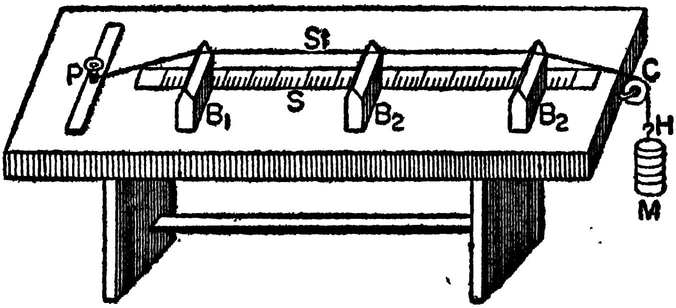
এখন অজানা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোন সুরশলাকাকে যদি এই তারের মূল সুরের সহিত সমসুরে আনা যায়, তাহা হইলে ঐ সুরশলাকার কম্পাঙ্কও n হইবে। সেক্ষেত্রে, সমীকরণ (5.2b) হইতে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (n) নির্ণয় করা যাইবে যদি l, M, m ও g-এর মান জানা থাকে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus):

সনোমিটার ; সুরশলাকা ; রবার প্যাড ; তুলাযন্ত্র ; ওজন বাক্স ; মিটার স্কেল ও পাতলা কয়েক টুকরো কাগজ।

সনোমিটার :

প্রায় একমিটার লম্বা একটি ফাঁপা কাঠের বাক্স (W), যাহার উপরতলে দুইপ্রান্তে দুইটি কাঠের সেতু (B_1 ও B_2) আটকানো থাকে (চিত্র 5.2)। এই দুইটি সেতুর



চিত্র 5.2 : সনোমিটার

মাঝে আরো একটি অতিরিক্ত সেতু (B_3) থাকে যাহাকে সরাইয়া তারের কম্পমান অংশের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করা যাইতে পারে। বাক্সের উপরে দৈর্ঘ্য বরাবর একটি সরু সমব্যাসের তার টান করিয়া (St) বাঁধা থাকে। উহার এক প্রান্ত একটি পেরেক বা খুঁটির (P) সহিত দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে এবং অপর প্রান্তটি একটি পুলি (pulley) C-এর উপর দিয়া লইয়া একটি আংটার (H) সহিত যুক্ত থাকে। এই আংটার উপর বিভিন্ন ওজন চাপাইয়া (M) তারটিকে টান রাখা হয় এবং ঐ ওজন পরিবর্তন করিয়া, টানের পরিবর্তন করা যায়। B_1 ও B_3-এর মধ্যে তারের কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য একটি মিটার স্কেল (S) তারের পাশে কাঠের বাক্সের গায়ে লাগানো থাকে।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure):

(i) প্রথমে সনোমিটারের তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) নির্ণয় করিতে হইবে। এজন্য সনোমিটার তারেরই একটি নমুনা লম্বা তার লইয়া তুলাযন্ত্রের সাহায্যে উহার ভর মাপা হইল এবং উহার দৈর্ঘ্যও মাপা হইল। যদি তারটির দৈর্ঘ্য L সেমি এবং ভর W গ্রাম হয়, তাহা হইলে উহার প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) হইবে

$$m = W/L \text{ গ্রাম/সেমি।}$$

(ii) তারটির সহিত যুক্ত আংটার (H) ওজন লওয়া হইল। এই আংটার যদি M গ্রাম ভর চাপানো হয় তাহা হইলে প্রকৃত প্রযুক্ত ভার হইবে (M+আংটার ওজন)।

(iii) আংটার উপর উপযুক্ত ভার (2 বা 1·5 কিলোগ্রাম) চাপাইয়া তারটিকে টান করা হইল। এই অবস্থায় তারটিকে উহার দৈর্ঘ্যের সমকোণে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে, উহাতে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি হইবে এবং শব্দের উৎপত্তি হইবে।

(iv) অজানা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সুরশলাকাটি লইয়া রবারের প্যাডে আঘাত করিয়া উহাকে কাঁপাইয়া, উহার হাতলটিকে কাঠের বাক্সের উপর ধরিলে, সুরশলাকা হইতে যে কম্পন সৃষ্টি হইবে, তাহার জন্য তারে পরবশ কম্পন-এর উৎপত্তি হইবে। এখন সঞ্চরণশীল সেতুটিকে সরাইয়া যদি তারের কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য এমনভাবে নির্ণয় করা হয়, যাহাতে তারের কম্পাঙ্ক ও সুরশলাকার কম্পাঙ্ক এক হইয়া যায়, তাহা হইলে তখন অনুনাদের সৃষ্টি হইবে এবং তারটি খুব প্রবলভাবে কম্পিত হইবে। সঞ্চরণশীল সেতুকে সরাইয়া কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য কমাইলে তারের কম্পাঙ্ক বাড়িবে এবং দৈর্ঘ্য বাড়াইলে, তারের কম্পাঙ্ক কমিবে।

(v) তারের ঠিক কোন্ দৈর্ঘ্যে অনুনাদের সৃষ্টি হয়, তাহা সঠিকভাবে নির্ণয় করিতে হইলে, একটি ছোট পাতলা কাগজের টুকরাকে ভাঁজ করিয়া Λ-আকারে করা হইল এবং উহাকে কম্পনশীল তারের উপর মধ্যখানে রাখা হইল। এরপর কম্পমান সুরশলাকাকে কাঠের বাক্সের উপর তারের পার্শ্বে ধরিয়া, সঞ্চরণশীল সেতুকে, স্থির সেতু B_1-এর নিকট হইতে ক্রমশঃ দূরে সরানো হইতে লাগিল। কাগজের টুকরাটি কিন্তু B_1 ও B_3 (সঞ্চরণশীল সেতু)-এর মধ্যে থাকিবে। দেখা যাইবে যে, B_3 সেতুটি একটি নির্দিষ্ট স্থানে আসিলে, B_1B_3-এর একটি ন্যূনতম দৈর্ঘ্যে, কম্পনশীল সুরশলাকাটিকে কাঠের বাক্সের উপর বসাইবার মাত্র, কাগজের টুকরাটি ছিটকাইয়া পড়িয়া যাইবে। এই অবস্থায় কম্পনশীল তারের কম্পাঙ্ক, সুরশলাকার কম্পাঙ্কের সমান হইবে অর্থাৎ অনুনাদের সৃষ্টি হইবে। স্কেল হইতে B_1B_3 সেতুদ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব মাপা হইল। এই পদ্ধতি তিনবার করিয়া, অনুনাদী কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্যের (l) গড় মান বাহির করা হইল। প্রযুক্ত ভারের (M) মানও লিপিবদ্ধ করা হইল।

(vi) আরও দুইটি বিভিন্ন ভারের (M) মান লইয়া, অনুরূপ পদ্ধতিতে প্রতি ক্ষেত্রে অনুনাদী দৈর্ঘ্যের মান (l) নির্ণয় করা হইল।

(vii) বিভিন্ন প্রযুক্ত ভারের ক্ষেত্রে গড় দৈর্ঘ্য হইতে সমীকরণ (5.2b) হইতে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (n)-এর মান নির্ণয় করিয়া গড় কম্পাঙ্কের মান বাহির করা হইল।

ফল (Results) :

তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) ও আংটার ওজন নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	নমুনা তারের দৈর্ঘ্য (L) (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য (L) (সেমি)	নমুনা তারের ভর (W) (গ্রাম)	নমুনা তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর (W/L) (গ্রাম/সেমি)	আংটার ভর M' (গ্রাম)
1	...				
2	...	...	...	...	...
3	...				
4	...				

বিভিন্ন টানের জন্য তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয়।

সারণী 2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আংটার ওজন (M' গ্রাম)	আংটার প্রযুক্ত ভার (M) (কিলোগ্রাম)	মোট প্রযুক্ত ভার ($1000M+M'$) গ্রাম	তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	গড় অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (n) (হার্ৎজ)	গড় কম্পাঙ্ক (n) হার্ৎজ
1	...	...	...	... ...	...	...	
2	...	...	...	... ...	...	...	...
3	...	...	...	... ...	...	...	

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (5.2b) হইতে, M-এর স্থানে ($M'+1000M$) গ্রাম বসাইয়া (আংটার ওজন+প্রযুক্ত ভার) এবং প্রতি ভারের জন্য সংশ্লিষ্ট অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l)-এর মান বসাইয়া

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{(1000M+M')g}{m}}$$ সূত্রের সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা হইল।

লেখচিত্র অঙ্কন :

সমীকরণ (5.2*b*-)কে এরূপভাবে লেখা যাইতে পারে

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}=\sqrt{\frac{g}{4m}\times\frac{M}{l^2}} \quad \cdots \quad (5.2c)$$

অর্থাৎ বিভিন্ন প্রযুক্ত ভারের জন্য (M) যে অনুনাদী দৈর্ঘ্য হইবে (l), তাহার জন্য M/l^2-এর মান ধ্রুবক হইবে। সেজন্য সারণী-2 হইতে M/l^2-এর মান বাহির করিয়া, বিভিন্ন ভারের ক্ষেত্রে M/l^2-এর ধ্রুবকের মান নির্ণয় করা যায়। সেই মান সমীকরণ (5.3*c*)-এ বসাইয়া n-এর মান নির্ণয় করা যায়। অথবা M বনাম l^2-এর একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিয়া (যাহা একটি সরলরেখা হইবে) সেই লেখচিত্রের যে কোন একটি বিন্দু লইয়া, তাহার সংশ্লিষ্ট M ও l^2-এর মান সমীকরণ (5.2*c*)-এ বসাইয়াও n-এর মান নির্ণয় করা যায়।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) কম্পনশীল তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিবার সময়ে সতর্ক থাকা প্রয়োজন যে, যেন তারের ন্যূনতম দৈর্ঘ্যের সহিত সুরশলাকা অনুনাদের সৃষ্টি করে। এজন্য B_1 ও B_3 সেতুদ্বয়কে একদম কাছাকাছি আনিয়া, ক্রমশঃ B_3-কে সরাইয়া তারের কম্পনশীল দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করিয়া অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা প্রয়োজন। কারণ মূলসুরের সংশ্লিষ্ট দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ বা তিনগুণ দৈর্ঘ্যেও, উপসুরের সহিত অনুনাদের সৃষ্টি হইতে পারে। কিন্তু তখন প্রদত্ত সমীকরণ কার্যকরী হইবে না।

(ii) আংটা ও প্রযুক্ত ভারের মোট সমষ্টি যেন তারটির সীমান্তভার অতিক্রম না করে। সেক্ষেত্রে তারটি স্থিতিস্থাপকতার সীমা অতিক্রম করিবে এবং কম্পন তখন কোন সুনির্দিষ্ট সূত্র অনুসরণ করিবে না।

(iii) অনুনাদী যথাসম্ভব সূক্ষ্মতার সহিত নির্ণয় করিতে হইবে কারণ অনুনাদের খুব নিকটে আসিয়া, পরবশকম্পনবশতঃ কাগজের টুকরাটি পড়িয়া যাইতে পারে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ পরবশকম্পন ও অনুনাদের পার্থক্য কি ?

উঃ পরবশকম্পনের ক্ষেত্রে যখন কম্পমান ও কম্পিত বস্তুর কম্পাঙ্ক ঠিক এক হয়, তখন শব্দের প্রাবল্য বৃদ্ধি পায় এবং অনুনাদের সৃষ্টি হয়।

প্রঃ সনোমিটারে কাঠের ফাঁপা বাক্সটির প্রয়োজনীয়তা কি ?

উঃ তারের কম্পন, সেতু ও সেতুর সংস্পর্শে অবস্থিত কাঠের পাটাতনকে কাঁপাইয়া বাক্সের আভ্যন্তরীণ বায়ুতে পরবশকম্পন সৃষ্টি করে। ইহাতে উৎপন্ন সুরের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়।

প্রঃ তারের কম্পাঙ্ক কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ তারের দৈর্ঘ্য, তারের টান ও তারের একক দৈর্ঘ্যের ভরের উপর উহার কম্পাঙ্ক নির্ভর করে।

প্রঃ এই পরীক্ষায় সরু তারের পরিবর্তে মোটা তার লইলে কি হইবে ?

উঃ মোটা তারের ক্ষেত্রে কুন্তন পীড়ন একটি বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। মূলনীতিতে ব্যবহৃত সূত্রটি

প্রতিষ্ঠা করিবার সময়ে ধরিয়া লওয়া হয় যে, তারটি সরু। সেজন্য মোটা তারের ক্ষেত্রে এই সূত্র প্রযোজ্য হইবে না।

প্র: তারের তির্যককম্পনের সূত্রগুলি কি?

উ: [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্র: এই পরীক্ষায় ধাতব-তারের পরিবর্তে কি একটি সরু রবারের কর্ড লওয়া যাইতে পারে?

উ: না, সেক্ষেত্রে রবারের কম্পন শীঘ্র থামিয়া যায়, স্থিতিস্থাপকতার স্বল্পতার জন্য।

প্র: এই পরীক্ষায় সম্ভাব্য ভুলের মূল সূত্রগুলি কি?

উ: তারের দৃঢ়তা (stiffness); সেতুগুলির উৎপাদ (yielding) এবং পুলির উপর তারের ঘর্ষণ।

প্র: এই পরীক্ষা দ্বারা কি তারের উপাদানের ঘনত্ব বা কোন একটি অজানা ভরের মান নির্ণয় করা যায়?

উ: হ্যাঁ, সমীকরণ (5.2b) হইতে দেখা যায় যে, যদি একটি জানা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট (n) সুরশলাকা লওয়া যায়, তাহা হইলে এই পরীক্ষা দ্বারা m-এর মান ($=\pi r^2\rho$) পাওয়া যায়। তারের ব্যাসার্ধ (r) জানা থাকিলে, উহার ঘনত্ব (ρ) পাওয়া যায়। অনুরূপভাবে, সব রাশি জানা থাকিলে, M-এর মানও (অজানা ভর) পাওয়া যায়।

5·3 বিভিন্ন কম্পাঙ্ক ও অনুনাদী দৈর্ঘ্য লইয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন ও উহা হইতে একটি অজানা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় (To draw frequency (n)-resonant length (l) curve and hence to find the frequency of an unknown tuning fork)

মূলনীতি (Theory):

তারের তির্যককম্পনের সূত্রানুযায়ী, একটি কম্পনশীল তারের কম্পাঙ্ক

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{T/m} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (5.3a)$$

যখন l কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য; T নির্দিষ্ট বল যাহা তারটিকে টান রাখে; m-তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর। সুতরাং, যদি টান (T) নির্দিষ্ট থাকে তখন একটি নির্দিষ্ট তারের ক্ষেত্রে (m নির্দিষ্ট)

$$n\propto\frac{1}{l} \quad \text{বা,} \quad nl=\text{ধ্রুবক} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (5.3b)$$

অর্থাৎ, যদি একই সনোমিটারের ক্ষেত্রে টান (T) নির্দিষ্ট রাখিয়া বিভিন্ন কম্পাঙ্কের (n) সুরশলাকা লইয়া, সনোমিটারের কম্পনশীল তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয় করা যায়, তাহা হইলে, উহাদের ক্ষেত্রে $n\times l$-এর মান ধ্রুবক হইবে।

সুতরাং, n-কে X-অক্ষ বরাবর এবং l-কে Y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, ঐ লেখচিত্রটি সমপরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হইবে।

এখন, কোন একটি অজানা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট স্বরশলাকা লইয়া ঐ একই সনোমিটারে, উহার অনুরূপ অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l') নির্ণয় করিয়া, ঐ লেখচিত্র হইতে l'-এর মান দেখিয়া, অজানা কম্পাঙ্ক (n')-এর মান নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রাবলী (Apparatus):

সনোমিটার, অন্ততঃ পাঁচটি জানা কম্পাঙ্কের স্বরশলাকা, একটি অজানা কম্পাঙ্কের স্বরশলাকা।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure):

(i) প্রথমে সনোমিটারের তারের একপ্রান্তে লাগানো আংটায় একটি নির্দিষ্ট মানের ভার (T) ঝোলানো হইল এবং উহা সমগ্র পরীক্ষাকালে অপরিবর্তিত থাকিবে। ইহার মান 2 কিলোগ্রাম বা 2·5 কিলোগ্রাম হইতে পারে।

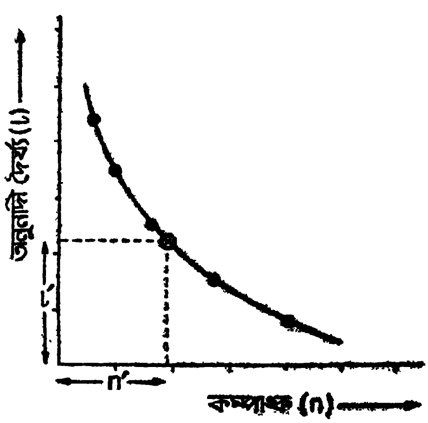
(ii) যে কয়টি জানা কম্পাঙ্কের (পাঁচটি বা সাতটি) লওয়া হইয়াছে, তাহাদের ক্রমহ্রাসমান কম্পাঙ্ক অনুযায়ী সাজানো হইল।

(iii) পূর্বোক্ত পরীক্ষায় (5·2) বর্ণনানুযায়ী, প্রত্যেক স্বরশলাকার জন্য সনোমিটার তারের ন্যূনতম অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l) তিনবার করিয়া লইয়া তাহাদের প্রত্যেকের ক্ষেত্রে গড় লওয়া হইল। এইভাবে, পাঁচটি শলাকার জন্য, পাঁচটি অনুনাদী দৈর্ঘ্যের মান পাওয়া যাইবে। এই মান বাহির করিবার সময়ে উচ্চতম কম্পাঙ্কের শলাকা হইতে সুরু করিতে হইবে।

(iv) সবশেষে, অজানা কম্পাঙ্কের স্বরশলাকার জন্য সংশ্লিষ্ট অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হইল (l')।

লেখচিত্র অঙ্কন

পাঁচটি বিভিন্ন শলাকার জন্য যে অনুনাদী দৈর্ঘ্য পাওয়া গিয়াছে, তাহাদের কম্পাঙ্কগুলিকে (n) একটি লেখচিত্রের X-অক্ষ বরাবর এবং সংশ্লিষ্ট অনুনাদী দৈর্ঘ্য-



চিত্র 5.3 : কম্পাঙ্ক-অনুনাদ দৈর্ঘ্য লেখচিত্র

গুলিকে (l) Y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। লেখ-চিত্রটি সমপরাবৃত্ত হইবে (চিত্র 5.3)। ঐ লেখচিত্রে অজানা কম্পাঙ্কের স্বরশলাকার জন্য প্রাপ্ত অনুনাদী দৈর্ঘ্যের মান (l') স্থাপনা করিয়া কম্পাঙ্ক (n') বাহির করা হইল। একটি দ্বিতীয় লেখচিত্রও ($n-1/l$) অঙ্কন করা যায়, যাহা একটি সরলরেখা হইবে এবং উহা হইতেও n'-এর মান বাহির করা যায়।

ফল (Results) :

কম্পাঙ্ক-অনুনাদী দৈর্ঘ্যের মান নির্ণয়

সারণী 1

আংটায় নির্দিষ্ট ভারের পরিমাণ = ··· কিলোগ্রাম

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক (n) (হার্ৎজ)	ন্যূনতম অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	গড় মান (l) (সেমি)	$n \times l$-এর মান	অজানা কম্পাঙ্কের মান (n') লেখচিত্র হইতে
1	512	··· ··· ···	···	···	
2	480	··· ··· ···	···	···	
3	···	··· ··· ···	···	···	n' = ··· হার্ৎজ
4	···	··· ··· ···	···	···	
5	···	·· ··· ···	···	···	
6	256	··· ··· ···	···	···	
7	অজ্ঞাত	··· ··· ···	··· $=l'$		

সতর্কতা (Precautions) :

(i) সাধারণতঃ পূর্বের পরীক্ষায় (5·2) প্রদত্ত সকল সতর্কতাগুলি এক্ষেত্রেও অবলম্বন করিতে হইবে।

(ii) একটু বিশেষ সতর্ক হওয়া প্রয়োজন যে, যেন প্রতিটি অনুনাদের ক্ষেত্রে তারের ন্যূনতম অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়, কারণ ঐ দৈর্ঘ্যের গুণিতক দৈর্ঘ্যেও অনুনাদ পাওয়া যাইবে কিন্তু সেক্ষেত্রে লেখচিত্রে সেই বিন্দুটি অনেক দূরে পড়িয়া যাইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ এই পরীক্ষায় কোনো সূত্রের যাথার্থ কি পরীক্ষিত হয় ?

উঃ হ্যাঁ, এই পরীক্ষার দ্বারা, তারের তির্যক কম্পনের দৈর্ঘ্যের সূত্র $\left(n \propto \frac{1}{l}\right)$ প্রমাণিত হয়।

প্রঃ তারের টান কি নির্দিষ্ট থাকা প্রয়োজন পরীক্ষাকালে ?

উঃ হ্যাঁ, দৈর্ঘ্যের সূত্র অনুযায়ী $n \propto \frac{1}{l}$ যখন তারের টান (T) ও একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) নির্দিষ্ট থাকে।

প্রঃ পরীক্ষাকালে টান পরিবর্তন করিলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে nl = ধ্রুবক—এই সত্যটি প্রযোজ্য হইবে না।

প্রঃ কি করিয়া বুঝা যায় যে, প্রতিক্ষেত্রে অনুনাদের সময়ে, ন্যূনতম দৈর্ঘ্য পাওয়া গিয়াছে ?

উঃ সে সম্বন্ধে নিশ্চিত হইবার জন্য, সর্বদা সঞ্চরণশীল সেতুটিকে স্থির সেতুর একদম কাছাকাছি হইতে সরাইয়া, অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিবার চেষ্টা করিতে হইবে এবং প্রথম প্রাপ্ত দৈর্ঘ্যই হইবে ন্যূনতম অনুনাদী দৈর্ঘ্য।

[অন্যান্য প্রশ্নের জন্য পূর্বোক্ত পরীক্ষা (5·2) দ্রষ্টব্য]

5·4 মেল্‌ডির পরীক্ষার সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the frequency of a tuning fork by Melde's experiment)

মূলনীতি (Theory) :

একটি সুরশলাকার এক বাহুতে যদি একটি টান দেওয়া সুতা লাগান থাকে, তাহা হইলে ঐ শলাকার কম্পনে, সুতার দৈর্ঘ্য বরাবর তির্যক তরঙ্গ অগ্রসর হয় এবং সুতার অপর প্রান্ত হইতে তরঙ্গ প্রতিফলিত হইয়া স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই তরঙ্গের গতিবেগ হইবে

$$V = \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \cdots \quad (5.4a)$$

যখন, V = তরঙ্গের গতিবেগ

T = সুতার টান এবং m = সুতার একক দৈর্ঘ্যের ভর। এখন সুতার দৈর্ঘ্য (l) এবং উহাকে টান রাখিবার জন্য প্রযুক্ত ভার (M) পরিবর্তন করিতে থাকিলে, এক সময়ে সুতার কম্পন ও শলাকার কম্পনের মধ্যে অনুনাদের সৃষ্টি হইবে এবং সেই অবস্থায়, সুতার কম্পনে যে সুস্পন্দবিন্দুগুলি (Antinodes) সৃষ্ট হইবে, তাহাদের কম্পনবিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে। তখন, দুইটি সন্নিহিত নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব (l) তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হইবে ($=\lambda/2$)

যদি সুতাকে টান রাখিবার জন্য W গ্রাম ভার প্রয়োগ করা হয় এবং আংটার

ওজন Mp হয়, তাহা হইলে মোট প্রযুক্ত ভার $M = W + Mp$ এবং সূতার টান $(T) = Mg$ ডাইন। সুতরাং সূতার কম্পাঙ্ক n পাওয়া যাইবে এই সূত্র হইতে

$$V = n\lambda = \sqrt{\frac{T}{m}} = \sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad \cdots \quad (5.4b)$$

$$\text{বা, } n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad \cdots \quad (5.4c)$$

(ক) যখন শলাকার বাহুর কম্পন সূতার দৈর্ঘ্যের সমকোণে হয়, তখন অনুনাদের সময়ে, শলাকার কম্পাঙ্ক (N) সূতার কম্পাঙ্কের (n) সমান হয়। এই ব্যবস্থায়,

$$N = n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{Mg}{m}} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad \cdots \quad (5.4d)$$

(খ) যখন শলাকার বাহুর কম্পন সূতার দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল হয়, তখন অনুনাদের সময়ে, শলাকার কম্পাঙ্ক (N) সূতার কম্পাঙ্কের (n) দ্বিগুণ হয়। এই ব্যবস্থায়,

$$N = 2n = \frac{2}{\lambda}\sqrt{\frac{Mg}{m}} = \frac{2}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$$

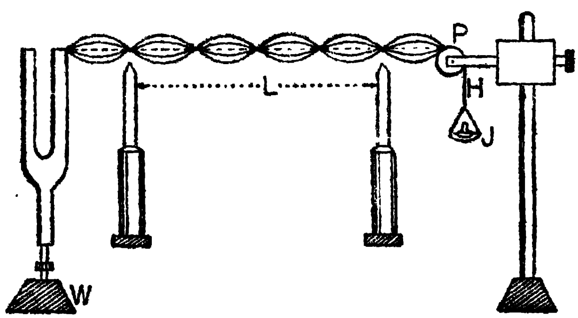
$$\text{বা, } N = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad \cdots \quad (5.4e)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

মেল্‌ডির যন্ত্র ; সূতা ; কাঠের দণ্ড ; পিন ; স্কেল ; তুলাযন্ত্র ও ওজন বাক্স ; এবং সুরশলাকা।

মেল্‌ডির যন্ত্র

এক টুকরা লম্বা সূতার একপ্রান্ত একটি সুরশলাকার একটি বাহুতে লাগানো থাকে। শলাকাটি একটি কাঠের টুকরাতে (W) দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে।



চিত্র 5.4 : মেল্‌ডির যন্ত্র

বাহুগুলি উল্লম্ব থাকে। বাহুগুলির কম্পনরেখা হয় সূতার দৈর্ঘ্যের সমকোণে অথবা দৈর্ঘ্য বরাবর থাকে। সূতার অপরপ্রান্ত একটি কপিকলের (P) মাধ্যমে একটি

আংটা (H)-এর সহিত যুক্ত থাকে (চিত্র 5.4)। ঐ আংটায় একটি তুলাপাত্রে (J) কিছু ভার রাখিয়া সুতাটিকে টান রাখা হয়।

সাধারণতঃ তড়িৎ চুম্বকের সাহায্যে শলাকাটিকে কম্পিত অবস্থায় রাখা হয় অথবা বিকল্প ব্যবস্থা হিসাবে, একটি রবার প্যাডযুক্ত হাতুড়ির দ্বারা শলাকার একটি বাহুকে আঘাত করিয়াও উহাকে কম্পিত করা হয়।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure) :

(i) সুরশলাকাটিকে সুতার দৈর্ঘ্যের সমকোণে অথবা সমান্তরালে রাখা হইবে, যাহাতে তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের সৃষ্টি হয়।

(ii) সুতাকে টান রাখিবার জন্য তুলাপাত্রে (J) কিছু ভার (10 অথবা 20 গ্রাম) রাখা হইল।

(iii) রবারের প্যাডের দ্বারা আঘাত করিয়া সুরশলাকার বাহুকে কম্পিত করা হইল। ইহাতে সুতায় মধ্যে কম্পনের সৃষ্টি হইবে এবং উহাতে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর আবির্ভাব হইবে। কপিকলটিকে (P) অনুভূমিকতলে সরাইয়া, সুতার দৈর্ঘ্য এমনভাবে নির্ধারণ করা হইল যে, সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুগুলি যেন খুব পরিষ্কারভাবে দেখা যায়।

(iv) দুইটি সন্নিহিত নিস্পন্দ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব মাপা হইল। এই মাপ লইতে, দুইটি কাঠের দণ্ডে লাগানো দুইটি পিনকে, সুতার দৈর্ঘ্যের মধ্যে যে কোন দুইটি সর্বাপেক্ষা পরিষ্কার নিস্পন্দবিন্দুর সহিত ঠেকাইয়া রাখা হইল। এই দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে কয়টি লুপের অস্তিত্ব আছে, তাহা গণনা করা হইল। যদি দুইটি পিনের মধ্যে সুতার দৈর্ঘ্য L সেমি হয় এবং যদি ঐ পিন দুইটির মধ্যে x-সংখ্যক লুপ থাকে, তাহা হইলে $l=L/x$.

(v) সমগ্র পদ্ধতি অন্ততঃ তিনবার সম্পন্ন করা হইল এবং প্রতিবার সুতার মোট দৈর্ঘ্য এবং পিনের অবস্থানের পরিবর্তন করিয়া স্বাধীনভাবে পরিমাপ করা হইল।

(vi) সকল পরিমাপ হইতে দুইটি সন্নিহিত নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যেকার গড় দূরত্ব (l) নির্ণয় করা হইল।

(vii) সুতার প্রান্তে ঝোলানো আংটা ও তুলাযন্ত্রের ওজন (Mp) মাপিয়া, প্রযুক্ত ভারের (W) সহিত যোগ করিয়া মোট ভারের (M) পরিমাণ নির্ণয় করা হইল।

(viii) টান পরিবর্তন করিয়া অর্থাৎ W-এর মান পরিবর্তন করিয়া (5 গ্রাম করিয়া) আরো দুইটি ভারের জন্য সমগ্র পরীক্ষাটি পুনরাবৃত্তি করা হইল।

(ix) সুরশলাকাটিকে একবার সুতার দৈর্ঘ্যের সমকোণে এবং একবার উহার সমকোণে রাখিয়া, পরীক্ষাটি দুইবার সম্পন্ন করিতে হইবে এবং যথাক্রমে সমীকরণ (5.4d) ও (5.4e) প্রয়োগ করিয়া সুরশলাকার কম্পাঙ্কের মান (N) নির্ণয় করিতে হইবে।

(x) সবশেষে সুতার একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য লইয়া, তুলাযন্ত্রের সাহায্যে উহার ওজন (m) নির্ণয় করিতে হইবে।

ফল (Results) :

তুলায় আংটাসহ ভার (Mp) = ⋯গ্রাম

সূতায় উৎপন্ন তরঙ্গের সন্নিহিত দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	তুলায় ভারের পরিমাণ (W) গ্রাম	দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুতে অবস্থিত পিন দুইটির মধ্যেকার দূরত্ব (L) সেমি	L-এর গড় মান (সেমি)	পিন দুইটির মধ্যে উৎপন্ন লুপের সংখ্যা (x)	দুইটি সন্নিহিত নিস্পন্দ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যেকার দূরত্ব ($L/x=l$) সেমি
1	⋯	⋯ ⋯ ⋯	⋯	⋯	⋯
2	⋯	⋯ ⋯ ⋯	⋯	⋯	⋯
3	⋯	⋯ ⋯ ⋯	⋯	⋯	⋯

সূতার একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) নির্ণয়

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	সূতার দৈর্ঘ্য (L) সেমি	সূতার ভর (M_1) গ্রাম	সূতার একক দৈর্ঘ্যের ভর $\left(m=\frac{M_1}{L}\right)$ গ্রাম/সেমি	গড় m-এর মান (গ্রাম/সেমি)
1	⋯	⋯	⋯	
2	⋯	⋯	⋯	⋯
3	⋯	⋯	⋯	

হিসাব (Calculation) :

মূলনীতিতে প্রদত্ত (ক) ও (খ) ব্যবস্থার জন্য যথাক্রমে সমীকরণ (5.4d) এবং (5.4e) ব্যবহার করিয়া সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (N) নির্ণয় করা যায়।

প্রথম ব্যবস্থার জন্য কম্পাঙ্ক $N=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$ = ⋯ হার্ৎজ

এবং, দ্বিতীয় ব্যবস্থার জন্য কম্পাঙ্ক $N=\frac{1}{l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$ = ⋯ হার্ৎজ

সতর্কতা (Precautions) :

(i) নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কাজ অতি সূক্ষ্মতা ও সতর্কতার সহিত করা প্রয়োজন। সেজন্য যতগুলি সম্ভব লুপের ব্যবধানে এই দূরত্ব পিনের সাহায্যে মাপা দরকার। কিন্তু সুতার একদম শেষপ্রান্তের সুস্পন্দ বিন্দুগুলি খুব অস্পষ্ট হয় সেজন্য সেই দুইটি বিন্দু বাদ দেওয়া উচিত।

(ii) সুতার একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) সর্বত্র সমান হওয়া বাঞ্ছনীয়। সেজন্য সমব্যাসসম্পন্ন সুতা ব্যবহার করা উচিত।

(iii) কপিকলের পরবর্তী অংশের সুতার দৈর্ঘ্য অল্প হওয়া বাঞ্ছনীয়।

(iv) তুলার উপর প্রথমে অল্প ভার দিয়া সুতার মধ্যে অন্ততঃ 5/6টি লুপ সৃষ্টি করিতে হয়। উহার পর ভারের পরিমাণ অল্প করিয়া ক্রমশঃ বাড়াইয়া লুপের সংখ্যা ক্রমশঃ কমাইতে হয়।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের সুতায় একটিমাত্র সুস্পন্দবিন্দু সৃষ্টি করিতে যদি W গ্রাম ভারের প্রয়োজন হয়, তাহা হইলে, উহাতে y-সংখ্যক সুস্পন্দবিন্দু উৎপন্ন করিতে W/y গ্রাম ভারের প্রয়োজন হইবে। আবার, যদি নির্দিষ্ট একটি ভারে (W গ্রাম) একটি L সেমি দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট সুতায় একটিমাত্র সুস্পন্দবিন্দু সৃষ্টি করা যায়, তাহা হইলে ঐ নির্দিষ্ট ভারে y-সংখ্যক সুস্পন্দবিন্দু সৃষ্টি করিতে সুতার যে দৈর্ঘ্যের প্রয়োজন হইবে, তাহার মান হইবে yl।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ এই পরীক্ষার মূল উদ্দেশ্য কি ?

উঃ তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলি পরীক্ষা করা।

প্রঃ এই পরীক্ষায় সুতার পরিবর্তে সরু তার লইলে কি হয় ?

উঃ সেক্ষেত্রে, প্রথমতঃ সুতায় কম্পন কেবলমাত্র সুতার টানের দ্বারা প্রভাবিত হয় কিন্তু সরু ধাতব তারের ক্ষেত্রে, উহার কম্পন, টান এবং দৃঢ়তা গুণাঙ্ক দ্বারা প্রভাবিত হইবে। দ্বিতীয়তঃ, তারের ক্ষেত্রে একক দৈর্ঘ্যের ভর (m)-এর মান অধিক হওয়ায়, l-এর মান অত্যন্ত অল্প হইবে যাহা সাধারণ ব্যবস্থায় পরিমাপ করা সম্ভব নয় এবং দৃষ্টিগোচরও নয়।

প্রঃ তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে শলাকার কম্পাঙ্ক কেন সুতার কম্পাঙ্কের সমান অথচ অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ক্ষেত্রে কেন শলাকার কম্পাঙ্ক সুতার কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ ?

উঃ কারণ, তির্যক কম্পন ব্যবস্থায় শলাকার বাহু যখন একবার পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে, তখন সুতাটি দুইবার টান হইয়া এবং দুইবার আলগা হইয়া একটি পূর্ণ কম্পনের আকার লয়। পক্ষান্তরে, অনুদৈর্ঘ্য কম্পন ব্যবস্থায়, শলাকার বাহুটি যখন একবার পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে, সেই সময়ে সুতাটি একবার আলগা হয় একবার টান হয়। অর্থাৎ অর্ধেক কম্পন সম্পন্ন করে। সেজন্য পরবর্তী ব্যবস্থায়, সুতার কম্পাঙ্ক সুরশলাকার কম্পাঙ্কের অর্ধেক।

প্রঃ নির্দিষ্টভাবে এবং নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের একটি সুতা যদি একবার তির্যক ব্যবস্থায় এবং একবার অনুদৈর্ঘ্য ব্যবস্থায় কাঁপিতে থাকে, তাহা হইলে উভয়ক্ষেত্রে উৎপন্ন লুপের সংখ্যার কি তারতম্য ঘটিবে ?

উঃ অনুদৈর্ঘ্য কম্পন ব্যবস্থায় উৎপন্ন লুপের সংখ্যা, তির্যক ব্যবস্থায় উৎপন্ন লুপের সংখ্যার অর্ধেক হইবে।

প্রঃ সুতায় কখন লুপের উদ্ভব হইবে ?

উঃ যখন সুতার মোট দৈর্ঘ্য λ/2-এর সরল গুণিতক হইবে।

প্রঃ আংটার ওজন কি টানের জন্য বিবেচনা করা উচিত ?

উঃ হ্যাঁ, বিশেষভাবে, কারণ এক্ষেত্রে প্রযুক্ত ভারের পরিমাণ সাধারণতঃ কম হয় (10/15 গ্রাম)। সেজন্য, আংটার ওজন অবশ্যই প্রযুক্ত ভারের সহিত যোগ করিতে হইবে।

প্রঃ সুতার কম্পনে যে উপসুরগুলির সৃষ্টি হয়, তাহারা কি প্রকৃতির ?

উঃ এই উপসুরগুলি মূল কম্পাঙ্কের সমমেল এবং উহার যুগ্ম ও অযুগ্ম গুণিতক।

ষষ্ঠ অধ্যায়

চুম্বকবিজ্ঞানের পরীক্ষাসমূহ
(Experiments on Magnetism)

6·1 ম্যাগনেটোমিটারের সাহায্যে (ক) একটি দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বকভ্রামক নির্ণয় এবং (খ) ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য নির্ণয় (Determination of (a) magnetic moment of a bar magnet and (b) horizontal component of earth's magnetic field by magnetometers)

মূলনীতি (Theory) *:*

একটি ছোট চুম্বককে (যাহার চৌম্বক দৈর্ঘ্য $2l$) যদি একটি বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপীর (deflection magnetometer) অক্ষীয় অবস্থায় (end-on position) r সেমি দূরে স্থাপন করা হয়, এবং ঐ চুম্বকের চৌম্বকভ্রামক যদি M হয় এবং ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য যদি H হয়, তাহা হইলে চুম্বকত্বমাপীর নীতি অনুযায়ী $\frac{M}{H}=\frac{(r^2-l^2)^2}{2r}\times\tan\theta$ ... (6.1*a*)

যখন θ = চুম্বকত্বমাপীর (magnetometer) চুম্বকের বিক্ষেপ। আবার, ঐ ছোট দণ্ডচুম্বককে যদি একটি দোলনী চুম্বকত্বমাপীতে (vibration magnetometer) চাপাইয়া, দোলনকাল (T) মাপা হয়, তাহা হইলে চুম্বকত্বমাপীর নীতি অনুযায়ী

$$T=2\pi\sqrt{I/MH} \qquad \cdots \qquad (6.1b)$$

যখন, I = দণ্ডচুম্বকটির জাড্যভ্রামক (দোলন অক্ষ বরাবর)

সমীকরণ (6.1*b*) হইতে

$$MH=4\pi^2 I/T^2 \qquad \cdots \qquad (6.1c)$$

সমীকরণ (6.1*a*) ও (6.1*c*) হইতে

$$M=\sqrt{MH\times\frac{M}{H}}=\sqrt{\frac{4\pi^2 I}{T^2}\times\frac{(r^2-l^2)^2}{2r}\times\tan\theta} \qquad \cdots \qquad (6.1d)$$

$$\text{এবং } H=\sqrt{MH\div\frac{M}{H}}=\sqrt{\frac{4\pi^2 I}{T^2}\div\frac{(r^2-l^2)^2}{2r}\tan\theta} \qquad \cdots \qquad (6.1e)$$

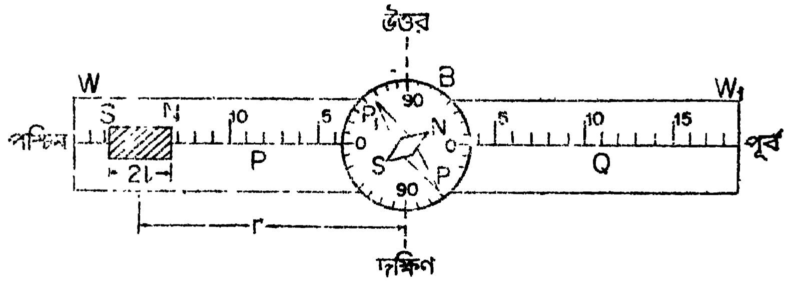
চুম্বকত্বমাপীর সাহায্যে এবং চুম্বকের আকার ও আকৃতি হইতে এই সমীকরণদ্বয়ের রাশিগুলি মাপিলে, M ও H-এর মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

দণ্ডচুম্বকশলাকা ; দোলনী ও বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপীদ্বয় ; স্লাইড ক্যালিপার্স ; তুলাযন্ত্র ও ওজন বাক্স ; স্টপঘড়ি ।

বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপী (Deflection Magnetometer)

এই যন্ত্রে একটি প্রায় 1 মিটার লম্বা কাঠের বোর্ডের (WW_1) মধ্যখানে একটি গোলাকৃতি গর্ত থাকে। এই গর্তে একটি বাক্স (B) বসানো থাকে যাহা কাঁচদ্বারা ঢাকা থাকে। এই বাক্সের ঠিক কেন্দ্রস্থলে একটি ছোট চুম্বকশলাকা (ns) অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে (চিত্র 6.1)। এই শলাকার সমকোণে একটি লম্বা সূচক (pointer PP_1) যুক্ত করা থাকে যাহার অগ্রভাগ একটি বৃত্তাকার স্কেলের (S) উপর ঘুরিতে পারে। ঐ স্কেলটি (0 – 90) ; (90 – 0) ; (0 – 90) এবং



চিত্র 6.1 : বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপী

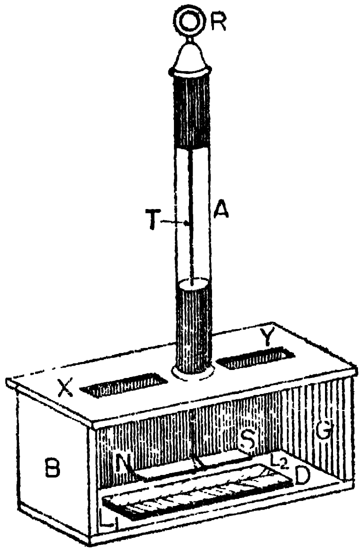
(90 – 0) এই চারিটি বৃত্তপাদে (quadrant) অবস্থান করিয়া উহার বিক্ষেপের মান নির্দেশ করিতে পারে। সূচকের নীচে একটি দর্পণও থাকে, যাহাতে সূচকের পাঠ নির্ভুলভাবে (parallax error) পাওয়া যায়। বৃত্তাকার বাক্সের দুই পার্শ্বে দুইটি অর্ধমিটার স্কেল (P ও Q) আটকানো থাকে যাহাদের শূন্য দাগ চুম্বকশলাকার অক্ষের সহিত মিলিয়া থাকে।

স্কেলযুক্ত কাঠের বাহু দুইটিকে যখন চৌম্বক-মধ্যতলের (magnetic meridian) সমকোণে রাখা হয়, তখন সাধারণতঃ সূচকের অগ্রভাগ (0 – 0) নির্দেশ করে। এখন যদি কোন একটি দণ্ডচুম্বককে (NS) বোর্ডের বাহুর সমান্তরালে রাখা হয়, তাহা হইলে যন্ত্রের এই অবস্থানকে 'অক্ষীয় অবস্থা' (end-on position) বলে। কিন্তু যদি বাহুদ্বয়কে চৌম্বক মধ্যতলের সমান্তরালে রাখিয়া, দণ্ডচুম্বককে বোর্ডের বাহুর সমকোণে রাখা হয়, তখন যন্ত্রের সেই অবস্থানকে 'নিরক্ষীয় অবস্থা' (broad-side-on position) বলে।

দোলনী চুম্বকত্বমাপী (Vibration Magnetometer)

এই যন্ত্রে একটি আয়তক্ষেত্রিক কাঠের বাক্স (B) থাকে যাহার সামনের উল্লম্বতলে একটি কাঁচের ঢাকনা (G) আছে এবং উপরের কাঠের মধ্যে দুইটি ছিদ্র (X, Y)

কাঁচ দ্বারা আটকানো থাকে (চিত্র 62)। বাক্সের ভিতর নীচে একটি দর্পণ (D) থাকে যাহার দৈর্ঘ্য বরাবর একটি রেখা (L_1L_2) টানা থাকে। কাঁচের ঢাকনাটি (G) খুলিয়া বাক্সটিকে উন্মুক্ত করা যায়। বাক্সের উপরের তলের মধ্যখানে একটি ছিদ্র থাকে যাহার মুখে একটি লম্বা কাঁচের চোঙ (A) লাগানো থাকে। চোঙের মাথায় একটি ঘূর্ণনক্ষম ধাতুর ক্যাপ (R) থাকে যাহাকে ব্যাবর্তনী মুণ্ড (torsion head) বলে। এই মুণ্ডের সহিত একটি লম্বা সিল্কের সুতার (T) একপ্রান্ত আটকানো থাকে। ঐ সুতার নিম্নপ্রান্ত একটি দোলনার (cradle) সহিত



চিত্র ৬৩ : দোলনী চুম্বকত্বমাপী

লাগানো থাকে। দোলনাটি ঠিক দর্পণের রেখার উপর থাকে। এই দোলনার উপর দণ্ডচুম্বকটিকে (NS) বসাইয়া উহার দোলন উপরের কাঁচের ছিদ্রের (X, Y) মাধ্যমে দেখা যায়। দর্পণের উপর টানা রেখার ($L_1 L_2$) সাপেক্ষে চুম্বকটির দোলনকাল সহজেই নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে চুম্বকদণ্ডটির দৈর্ঘ্য (l') এবং প্রস্থ (b') একটি স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। ঐ দৈর্ঘ্যকে (l') 0.86 দ্বারা গুণ করিলে কার্যকরী চৌম্বক দৈর্ঘ্য (magnetic length) পাওয়া যাইবে (l)। তুলাযন্ত্রের সাহায্যে উহার ভরও (m) নির্ণয় করা হইল। এইগুলির মান হইতে উহার জাড্য-ভ্রামকের মান নির্ণয় করিতে হইবে। যদি চুম্বকটি আয়তক্ষেত্রিক আকারের হয়, তাহা হইলে জাড্য-ভ্রামক (I) হইবে

$$I = \frac{m}{12} (l'^2 + b'^2)$$

(ii) বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপীকে সমতল করিয়া, উহাকে এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে উহার বাহুদ্বয় চৌম্বক মধ্যতলের সমকোণে থাকে। এই অবস্থায় সূচকটি বাহুর সমান্তরাল হইবে এবং (O-O) রেখা স্পর্শ করিয়া থাকিবে।

(iii) চুম্বকদণ্ডটিকে এইবার একটি বাহুর উপর নির্দিষ্ট দূরত্বে বসানো হইল (মনে করা যাক যে, চুম্বকটির উত্তর মেরু চুম্বকশলাকার দিকে থাকে)। ইহাতে সূচকের বিক্ষেপ ঘটিবে। চুম্বকটিকে এমন দূরত্বে বসাইতে হইবে যে, যেন সূচকের বিক্ষেপ প্রায় 45° হয়। এই অবস্থায়, সূচকের দুই প্রান্তের বিক্ষেপ এবং চুম্বকের দুই প্রান্তের স্কেলের পাঠ (r_1 ও r_2) লওয়া হইল।

(iv) চুম্বকটিকে এরপর ঘুরাইয়া উহার দক্ষিণমেরুকে শলাকার দিকে নির্দেশ করিয়া ঐ একই স্থানে বসাইয়া, সূচকের পাঠ পুনরায় লওয়া হইল।

(v) পুনরায় চুম্বকটিকে 180° ঘুরাইয়া (অর্থাৎ উল্টাইয়া) পদ্ধতি (iii) ও (iv)-এর পুনরাবৃত্তি করা হইল।

(vi) চুম্বকটিকে এবার বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপীর বাহুর অপরদিকে বসাইয়া পদ্ধতি (iii), (iv) ও (v)-এর পুনরাবৃত্তি করা হইল। এই সময়ে চুম্বকটিকে স্কেলের উপর ঠিক একই দূরত্বে বসাইতে হইবে অর্থাৎ r_1 ও r_2-এর মান যেন অপরিবর্তিত থাকে।

(vii) চুম্বকটিকে বাহুর দুইধারে দুইবার বসাইয়া, সূচকের মোট 16টি পাঠ পাওয়া যাইবে এবং উহা হইতে সূচকের গড় বিক্ষেপ (θ) নির্ণয় করিতে হইবে।

(viii) স্কেলের শূন্য হইতে (শলাকার কেন্দ্রবিন্দু) চুম্বকের কেন্দ্রের দূরত্ব (r), চুম্বকের চৌম্বক দৈর্ঘ্য (l) এবং সূচকের বিক্ষেপ (θ)-এর মান হইতে, সমীকরণ (6·1a) হইতে $\frac{M}{H}$-এর মান পাওয়া যাইবে।

(ix) চুম্বকদণ্ডটিকে সামান্য সরাইয়া, অর্থাৎ r-এর আরো দুইটি মানের জন্য, সমগ্র পরীক্ষাটি আরো দুইবার করা যাইতে পারে। প্রতিবারের পর্যবেক্ষণ হইতে M/H-এর মান বাহির করিয়া গড় M/H-এর মান বাহির করিতে হইবে।

(x) চুম্বকটিকে এইবার দোলনী চুম্বকত্বমাপীর দোলনার উপর চাপান হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, চুম্বকের কেন্দ্রবিন্দু দিয়া যেন দোলনার সূতাটি যায়, এবং চুম্বকের অক্ষরেখা যেন দর্পণের উপর টানা রেখা (L_1L_2)-এর সমান্তরালে থাকে।

(xi) অন্য একটি চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থকে, ঐ চুম্বকের নিকট আনিয়া, পরীক্ষাধীন চুম্বকটিকে দোলনাসহ সামান্য বিক্ষেপ দেওয়া হইল। ফলে দোলনাসহ চুম্বকটি দুলিতে থাকিবে। একটি স্টপ ঘড়ির সাহায্যে 20 বা 30টি পূর্ণ দোলনকালের সময় পরিমাপ করিয়া, চুম্বকের দোলনকাল (T) নির্ণয় করা হইল।

(xii) সমীকরণ (6.1c)-এ, জাড্যভ্রামক (I) ও দোলনকাল (T)-এর মান বসাইলে, MH-এর মান পাওয়া যাইবে।

(xiii) সবশেষে, সমীকরণ (6.1d) ও (6.1e) হইতে, M/H ও MH-এর মান জানা থাকিলে, M ও H-এর মান পৃথকভাবে নির্ণয় করা যাইবে।

ফল (Results) :

চুম্বকদণ্ডের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, ভর ও জাড্য-ভ্রামক নির্ণয়

সারণী—1

চুম্বকদণ্ডের দৈর্ঘ্য (l') (সেমি)	গড় দৈর্ঘ্য (l') (সেমি)	চুম্বকদণ্ডের প্রস্থ (b') (সেমি)	গড় প্রস্থ (b') (সেমি)	চুম্বকদণ্ডের ভর (m) (গ্রাম)	চুম্বকদণ্ডের চৌম্বকদৈর্ঘ্য $l=l'\times 0{\cdot}86$ (সেমি)	চুম্বকদণ্ডের জাড্য-ভ্রামক (I) (গ্রাম সেমি^{2})
...		...				
...	...	...	...	...	...	...
...		...				
...		...				

বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপীর সাহায্যে (M/H)-এর মান নির্ণয়

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	শলাকা হইতে চুম্বকের কেন্দ্রের দূরত্ব $\left(r=\frac{r_1+r_2}{2}\right)$ (সেমি)	চুম্বকের অবস্থান	শলাকার বিক্ষেপ (ডিগ্রী) যখন চুম্বক কাঠের উপর								সূচকের গড় বিক্ষেপ (θ)	M/H-এর মান
			পশ্চিম বাহুতে				পূর্ব বাহুতে					
			দক্ষিণ মেরু (S) শলাকার দিকে		উত্তর মেরু (N) শলাকার দিকে		দক্ষিণ মেরু (S) শলাকার দিকে		উত্তর মেরু (N) শলাকার দিকে			
			সূচকের এক-প্রান্তের পাঠ	সূচকের অপর-প্রান্তের পাঠ	সূচকের এক-প্রান্তের পাঠ	সূচকের অপর-প্রান্তের পাঠ	সূচকের এক-প্রান্তের পাঠ	সূচকের অপর-প্রান্তের পাঠ	সূচকের এক-প্রান্তের পাঠ	সূচকের অপর-প্রান্তের পাঠ		
1		(a)	45	46	...	...	...	...	...	...	...	...
		(b)	40	45	...	...	...	...	...	...		
2		(a)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		(b)	...	...	...	...	...	...	...	...		
3		(a)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		(b)	...	...	...	...	...	...	...	...		

দ্রষ্টব্য : [চুম্বকের অবস্থান (*a*) ও (*b*) নির্দেশ করে, যখন চুম্বকের একতল ও 180° ঘুরাইয়া অপরতল কাঠের উপর থাকে ।]

দোলনী চুম্বকত্বমাপীর সাহায্যে (MH)-এর মান নির্ণয়

সারণী—3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দোলনকালে চুম্বকদণ্ডের		চুম্বকদণ্ডের দোলনকাল (T) (সেকেণ্ড)	চুম্বকদণ্ডের জাড্য-ভ্রামক (I) (গ্রাম বর্গসেমি)	$MH=\frac{4\pi^2 I}{T}$
	20টি দোলনের সময় (সেকেণ্ড)	গড় সময় (সেকেণ্ড)			
1	...				
2	...	...	...	...	...
3	...				

হিসাব (Calculation) :

সারণী 2 হইতে তিনটি M/H এর মান লইয়া গড় M/H-এর মান নির্ণয় করা হইল, এই মান (M/H) এবং সারণী 3 হইতে M/H-এর মান লইয়া, সমীকরণ (6 1*d*) ও (6.1*e*) হইতে

$$M=\sqrt{MH\times\frac{M}{H}} = \cdots\cdots \text{ডাইন-সেমি/ওরস্টেড্}$$

এবং $H=\sqrt{MH\div M/H}=\cdots$ ওরস্টেড্

সতর্কতা (Precautions) :

(i) r-এর মান যেন অল্প না হয় এবং বিক্ষেপ (θ)-এর মান যেন 45°-এর নিকটবর্তী হয় ।

(ii) সূচকের পাঠ লইবার পূর্বে কাঁচের উপর (বিক্ষেপী চুম্বকত্বমাপীর) সামান্য আঘাত দেওয়া প্রয়োজন যাহাতে শলাকাটি ঘর্ষণজনিত কারণে কোথাও না আটকায় ।

(iii) চুম্বকত্বমাপীর কাছাকাছি বা পরীক্ষাটেবিলে যেন পরীক্ষাকালে কোন চুম্বক বা চুম্বকজাতীয় কোন বস্তু না থাকে ।

(iv) ভাল ফল পাইতে বড় চুম্বকদণ্ড (শক্তিশালী) লওয়া প্রয়োজন ।

(v) দোলনকালে দোলনের বিস্তার যেন অধিক না হয় (10°-এর মধ্যে থাকা বাঞ্ছনীয়) ।

(vi) চুম্বকের কেন্দ্রবিন্দু যেন দোলনায় অক্ষরেখার উপর থাকে ।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ চুম্বকের চৌম্বকভ্রামক, প্রাবল্য, মেরুশক্তি কাহাকে বলে ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্রঃ M/H ও MH-এর মান পৃথিবীর সর্বত্র কি সমান ?

উঃ না, কারণ যেহেতু পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে H-এর মান ভিন্ন, সেজন্য উহাদের মানও বিভিন্ন হইবে।

প্রঃ এই পরীক্ষা হইতে চুম্বকের মেরুশক্তির মান কি জানা যায় ?

উঃ হ্যাঁ, কারণ সংজ্ঞানুযায়ী চৌম্বকভ্রামক=মেরুশক্তি × চৌম্বকদৈর্ঘ্য। সেজন্য চৌম্বকভ্রামকের (M) মান জানা থাকিলে মেরুশক্তির মান পাওয়া যায়।

প্রঃ ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য বলিতে কি বুঝ ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্রঃ চুম্বকত্বমাপীর নিকটে অন্য কোন চুম্বক বা চৌম্বকপদার্থ থাকিলে ক্ষতি কি ?

উঃ সেক্ষেত্রে শলাকার মুক্ত (free) বিক্ষেপ ঘটিবে না এবং চুম্বকদণ্ড ও শলাকা উভয়ই ঐ চুম্বক বা চৌম্বকপদার্থ দ্বারা প্রভাবিত হইবে।

সপ্তম অধ্যায়

আলোকবিজ্ঞানের পরীক্ষাসমূহ
(Experiments on Light)

7·1 উত্তল লেন্সের ফোকাস্ দূরত্ব এবং উহার বক্রতা-ব্যাসার্ধ মাপিয়া উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the refractive index of the material of a convex lens by measuring its focal length and radii of curvature)

মূলনীতি (Theory) :

কোন উত্তল লেন্সের ফোকাস্ দূরত্ব f হইলে উহার মান হয়

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.1a)$$

যখন, μ=লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক

এবং r_1, r_2=লেন্সের দুইটি তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ

উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে, f ও r_1-এর মান ঋণাত্মক এবং r_2-এর মান ধনাত্মক। সেজন্য, সমীকরণ (7.1a) হইবে

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.1b)$$

$$\text{অথবা, } \mu=1+\frac{r_1r_2}{f(r_1+r_2)} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.1c)$$

সুতরাং লেন্সের ফোকাস্ দূরত্ব এবং উহার দুই বক্রতলের ব্যাসার্ধ মাপিলে, উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (μ) পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

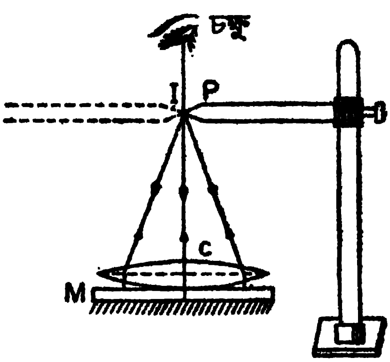
উত্তল লেন্স ; পিনসহ একটি দণ্ড ; একটি সমতল দর্পণ ; মিটার স্কেল ও স্ফেরোমিটার।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) উত্তল লেন্স (L)-কে একটি সমতল দর্পণ M-এর উপর স্থাপন করিয়া, একটি পিনের (P) সূক্ষ্মাগ্রকে লেন্সের অক্ষ বরাবর উপরে উঠানো হইতে লাগিল (চিত্র 7.1), যতক্ষণ না পিন P-এর অগ্রভাগ এবং উহার উল্টা সদ্বিম্বের মাথা (I) পরস্পর

মিলিয়া যায় এবং কোন লম্বনত্রুটি (parallax error) না থাকে। P হইতে লেন্সের উপরিভাগের এবং সমতল দর্পণের দূরত্ব যদি যথাক্রমে d_1 ও d_2 হয়, তাহা হইলে লেন্সের ফোকাস্ দূরত্ব হইবে, $f=\frac{d_1+d_2}{2}$

(ii) এইভাবে অন্ততঃ পাঁচবার পাঠ লইয়া. লেন্সের গড় ফোকাস্-দূরত্বের মান নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 7.1 : লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়

(iii) লেন্সের দুই বক্রতলের ব্যাসার্ধ পরিমাপ করিবার জন্য স্ফেরোমিটারের সাহায্যে 2·6 (ii)-এ বর্ণিত পদ্ধতি অবলম্বন করিতে হইবে, স্ফেরোমিটারের তিনটি পায়ার মধ্যেকার গড় দূরত্ব যদি d সেমি হয় এবং যদি কোন সমতল হইতে লেন্সের উত্তল তলের উচ্চতা h সেমি হয়, তাহা হইলে ঐ তলের বক্রতা ব্যাসার্ধ হইবে

$$r=\frac{d^2}{6h}+\frac{h}{2} \text{ সেমি}$$

[2·6 (ii)-এ বর্ণিত পদ্ধতি অনুসরণ করিতে হইবে এবং অনুরূপ তালিকা ও সারণী তৈয়ারী করিতে হইবে।]

(iv) f ও r_1, r_2-এর মান নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (7.1c হইতে, উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f) নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পিনের (P) দূরত্ব		লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f সেমি) $=\frac{d_1+d_2}{2}$	লেন্সের গড় ফোকাস্-দূরত্ব (f সেমি)
	লেন্সের উপরতল হইতে (d_1 সেমি)	সমতল দর্পণের উপরতল হইতে (d_2 সেমি)		
1	—	—	—	
2	—	—	—	
3	—	—	—	—
4	—	—	—	
5	—	—	—	

লেন্সের দুইতলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয়

সারণী—2

[2·6 (ii) পরীক্ষায় স্ফেরোমিটারের সাহায্যে গোলীয় তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় পদ্ধতির জন্য প্রদত্ত সারণীর অনুরূপ সারণীর সাহায্যে লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের পাঠ লিপিবদ্ধ করিতে হইবে।]

হিসাব (Calculations) :

সারণী 1 হইতে লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f) এবং সারণী 2 হইতে লেন্সের উভয়তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধের (r_1 ও r_2) মান লইয়া সমীকরণ (7.1c)-এ বসাইলে, লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর মান পাওয়া যাইবে।

$$\text{সুতরাং প্রতিসরাঙ্ক} \quad \mu = 1 + \frac{r_1 r_2}{f(r_1 + r_2)} = \quad \cdots$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় করিবার সময়ে, লম্বনত্রুটি (Parallax error) অবশ্যই দূর করিতে হইবে।

(ii) পিন-এর প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব দেখিবার সময়ে, পিন্-এর অগ্রভাগ যেন লেন্সের মধ্যভাগে অক্ষ বরাবর থাকে। ইহাতে বর্ণাপেরণ (chromatic) ও গোলাপেরণ (spherical) জনিত ত্রুটি (aberrations) দূরীভূত হইবে।

(iii) ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়কালে নিশ্চিত হইতে হইবে যে, পিন্-এর প্রতিফলিত প্রতিবিম্বটি যেন সদ্প্রতিবিম্ব হয়। যদি পিন্‌টি লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের মধ্যে থাকিয়া প্রতিবিম্বের সৃষ্টি করে, তাহা হইলে উহা অসদ্প্রতিবিম্ব হইবে এবং উহা লওয়া চলিবে না। সদ্প্রতিবিম্ব সর্বদা উল্টা প্রতিবিম্ব হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ প্রতিসরাঙ্ক, ফোকাস-দূরত্ব, বক্রতা-ব্যাসার্ধের সংজ্ঞা কি ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্রঃ উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের সহিত, উহার মধ্যে আলোর গতিবেগের কোন সম্পর্ক আছে কি ?

উঃ যদি আলোর গতিবেগ বায়ুশূন্য স্থানে c হয় এবং ঐ উপাদানের মধ্যে গতিবেগ v হয়, তাহা হইলে, প্রতিসরাঙ্ক $\mu = c/v$.

প্রঃ একটি অবতল (concave) লেন্সের সাহায্যে কি এই পরীক্ষা করা যায় ?

উঃ না, সেক্ষেত্রে সদ্‌বস্তুর সদ্‌বিম্ব উৎপন্ন হয় না।

প্রঃ লম্বনত্রুটি (parallax error) কি এবং কিরূপে উহা দূর করা হয় ?

উঃ যখন দুইটি বস্তু (বস্তু ও উহার প্রতিবিম্ব অথবা যে কোন দুইটি পৃথক বস্তু) একই তলে মিলিয়া না থাকে, তখন চোখ সরাইলে (বস্তু দুইটি সংযোগকারী সরলরেখার সমকোণে), দূরের বস্তুটি চোখের দিকে সরে। ইহাকেই লম্বনত্রুটি বলে। যখন চোখ সরাইলে, বস্তু দুইটি একইসঙ্গে একই দিকে সরে, তখন বুঝিতে হইবে যে, লম্বনত্রুটি নাই। বস্তুকে অগ্র-পশ্চাৎ করিয়া, এই ত্রুটি দূর করা হয়।

7·2 সমতল দর্পণ ও একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে কোন তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the refractive index of a liquid with the help of a convex lens and a plane mirror)

মূলনীতি (Theory) :

একটি সমতল দর্পণের উপর কয়েক ফোঁটা তরল রাখিয়া যদি ঐ তরলের উপর উত্তল লেন্সের একপৃষ্ঠ বসানো হয়, তাহা হইলে দর্পণ ও লেন্সের মধ্যবর্তীকার তরল, একটি সমঅবতল (planoconcave) লেন্সের সৃষ্টি করিবে। এই সমঅবতল তরল লেন্সের অবতল ভাগের বক্রতা-ব্যাসার্ধ, ঐ উত্তল লেন্সের যে তলের সহিত তরল সংস্পর্শে থাকে, সেই তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধের সমান হইবে। এই সমঅবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা বেশী। সেজন্য উত্তল লেন্স ও সমঅবতল লেন্স—ইহারা যুগ্মভাবে একটি উত্তল লেন্সের মত কার্য করিবে। যদি উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব f_1 হয় এবং সমঅবতল তরল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব f_2 হয়, তাহা হইলে উভয়ের মিলিত সংযুক্ত বা তুল্য লেন্সের (equivalent lens) ফোকাস্-দূরত্ব f হইবে

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.2a)$$

যেহেতু, f_1 ও f-এর চিহ্ন ঋণাত্মক (অভিসারী),

সেজন্য, $-\frac{1}{f}=-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$

বা, $$\frac{1}{f_2}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{f}=\frac{f-f_1}{ff_1} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.2b)$$

কিন্তু $$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.2c)$$

যখন ; μ—সংশ্লিষ্ট লেন্সের (এক্ষেত্রে সমঅবতল তরল লেন্স) প্রতিসরাঙ্ক

r_1 ও r_2—সংশ্লিষ্ট লেন্সের (এক্ষেত্রে সমঅবতল তরল লেন্স) দুই তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ

কিন্তু সমঅবতল লেন্সের ক্ষেত্রে, $r_2 = \infty$ এবং $r_1 = r$ যদি ধরা যায় তাহা হইলে সমীকরণ (7.2c) হইবে

$$\frac{1}{f_2} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right) = (\mu - 1).\frac{1}{r}$$

$$\text{বা,}\quad \mu = 1 + \frac{r}{f_2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.2d)$$

সুতরাং, সমঅবতল তরল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f_2) এবং উহার উপর তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (যাহা উত্তল লেন্সের নিম্নতলের বক্রতা-ব্যাসার্ধের সমান) জানা থাকিলে তরলের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

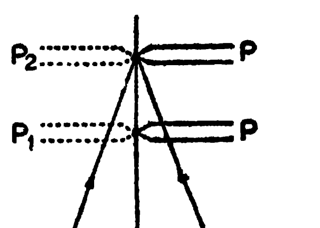
একটি উত্তল লেন্স ; সমতল দর্পণ ; পিনসহ একটি দণ্ড ; মিটার স্কেল ; স্ফেরোমিটার ; পরীক্ষাধীন তরলের সামান্য পরিমাণ এবং স্লাইড ক্যালিপার্স।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) একটি স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে উত্তল লেন্সের মধ্যস্থলে উহার স্থূলতা (t) পরিমাপ করা হইল। লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়ের সময়ে লেন্সের উপরিতল হইতে পিন্ (P)-এর দূরত্বের সহিত, এই স্থূলতার (t) অর্ধেক যোগ করিলে, পিন্-এর দূরত্ব লেন্সের কেন্দ্র হইতে (আলোককেন্দ্র O) পাওয়া যাইবে।

(ii) পূর্বের পরীক্ষায় (7·1) বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী, একটি পিন্ (P)-এর সাহায্যে শুধুমাত্র উত্তল লেন্স (C) দর্পণের উপর রাখিয়া, পিন্-এর সদ্‌বিম্ব (P_1) উৎপন্ন করিয়া এবং লম্বনত্রুটি দূর করিয়া, লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f_1) নির্ণয় করা হইল।

(iii) দর্পণের উপর কয়েক ফোঁটা পরীক্ষাধীন তরল ফেলিয়া, তাহার উপর পুনরায় উত্তল লেন্সটি রাখিয়া, একটি সমঅবতল লেন্স উৎপন্ন করা হইল (চিত্র 7.2)। পুনরায় ঐ পিন্-এর সাহায্যে সদ্‌বিম্ব (P_2) উৎপন্ন করিয়া এবং লম্বনত্রুটি দূর করিয়া, এই সংযুক্ত বা তুল্য লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f) নির্ণয় করা হইল।



চিত্র 7.2 : দর্পণ ও লেন্সের সাহায্যে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়

(iv) উত্তল লেন্সের যে তলটি তরলের সংস্পর্শে থাকে সেই তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (r) একটি স্ফেরোমিটারের সাহায্যে পূর্বের ন্যায় [পরীক্ষা 2.6-এর পদ্ধতি (ii)] নির্ণয় করা হইল।

(v) উত্তল লেন্স ও সংযুক্ত লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় করিবার সময়ে পিন্ (P) হইতে উত্তল লেন্সের উপর তল পর্যন্ত দূরত্বের সহিত লেন্সের স্থূলতার অর্ধেক ($t/2$) যোগ করিতে হইবে। তাহা হইলে প্রকৃত ফোকাস্-দূরত্ব (f_1 ও f) পাওয়া যাইবে।

(vi) প্রতিটি পাঠ লওয়ার সময়ে (f_1 ও f-এর) অন্ততঃ তিনবার পিন্ P-এর অবস্থান পরিবর্তন করিয়া গড় মান লইতে হইবে।

(vii) f_1 ও f-এর মান হইতে f_2-এর মান পাওয়া যাইবে সমীকরণ (7.2*b*) হইতে এবং f_2-এর মান এবং r-এর মান সমীকরণ (7.2*d* -এ বসাইলে তরলের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে উত্তল লেন্সের স্থূলতা (t, নির্ণয়

সারণী—1

ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ...সেমি

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূলস্কেলের পাঠ (M) সেমি	ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ ও মান (V) (সেমি)	মোট পাঠ ($M+V$) (সেমি)	গড় পাঠ (সেমি) স্থূলতা (t)	স্থূলতার অর্ধেক $t/2$ (সেমি)
1	—	—	—		
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—		
4	—	—	—		

উত্তল লেন্সের নিম্নতলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (r) নির্ণয়

সারণী—2

[2·6 (ii) পরীক্ষায় প্রদত্ত স্ফেরোমিটারের সাহায্যে গোলীয় তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সারণীর মত করিয়া পাঠ লিপিবদ্ধ করিতে হইবে।]

হিসাব (Calculations) :

সমীকরণ (7.2b) হইতে $\frac{1}{f_2}=\frac{f-f_1}{f f_1}$

এবং সমীকরণ (7.2d) হইতে

তরলের প্রতিসরাঙ্ক $\mu=1+\frac{r}{f_2}=$ ....

সতর্কতা (Precautions) :

(i) ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়ের সময়ে, লম্বনত্রুটি (parallax error) দূর অবশ্যই করিতে হইবে।

[অন্যান্য সতর্কতা সম্বন্ধে, ঠিক পূর্বের পরীক্ষা 7·1-এর সতর্কতাগুলি দ্রষ্টব্য।]

উত্তল লেন্স ও সংযুক্ত লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়

সারণী—3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	যখন পিন্ এবং উহার সদ্বিম্ব একত্রে মিলিয়া যায়						সমঅবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব $\left(f_2=\frac{f\ f_1}{f-f_1}\right)$ (সেমি)
	উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে			সংযুক্ত লেন্সের ক্ষেত্রে			
	লেন্সের উপর তল হইতে পিন্-এর দূরত্ব (d_1 সেমি)	গড় দূরত্ব (d_1 সেমি)	ফোকাস্-দূরত্ব ($f_1=d_1+t/2$) সেমি	সংযুক্ত লেন্সের উপর তল হইতে পিন-এর দূরত্ব (d_2 সেমি)	গড় দূরত্ব (d_2 সেমি)	ফোকাস্-দূরত্ব ($f=d_2+t/2$)	
1	—			—			
2	—	—	—	—	—	—	—
3	—			—			

প্রশ্নোত্তর

[পূর্বোক্ত পরীক্ষার (7·1) প্রশ্নোত্তরগুলি প্রথমে দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ সরল লেন্সটি কি প্রকৃতির লেন্স ?

উঃ উহা একটি সমঅবতল লেন্স।

প্রঃ কোন্ লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব বড় ?

উঃ তরল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা বেশী।

প্রঃ এই পদ্ধতিতে কি যে-কোন প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট তরলের μ নির্ণয় করা যায় ?

উঃ না, দেখানো যায় যে, যদি তরলের প্রতিসরাঙ্কের মান 2-এর কম হয়, তাহা হইলে। তখনই কেবলমাত্র এই পদ্ধতি কার্যকরী হয়, যদি লেন্সের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হয়।

প্রঃ স্ফেরোমিটারের সাহায্যে বক্রতা-ব্যাসার্ধ না মাপিয়া কি অন্য কোন উপায়ে তরলের প্রতিসরাঙ্ক এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায় ?

উঃ সেক্ষেত্রে আর একটি তরল (বা জল) লইতে হইবে যাহার প্রতিসরাঙ্ক (μ') জানা থাকে। সেই তরল লেন্স ব্যবহার করিয়া ফোকাস্-দূরত্ব (f'_2) নির্ণয় করিতে হইবে।

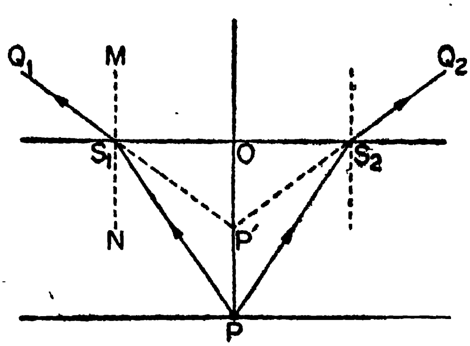
সুতরাং সেক্ষেত্রে $\mu' = 1 + \frac{r}{f'_2}$ বা, $(\mu' - 1)f'_2 = r$। আবার, অজানা তরলের ক্ষেত্রে প্রতিসরাঙ্ক $\mu = 1 + \frac{r}{f_2}$ বা, $(\mu - 1) f_2 = r$। উভয় হইতে, $(\mu' - 1) f'_2 = (\mu - 1) f_2$

বা, $\frac{\mu' - 1}{\mu - 1} = \frac{f}{f'_2}$. সুতরাং r-এর মান না জানিয়াও μ-এর মান পাওয়া যায় যদি μ'-এর মান জানা থাকে।

7·3 ভার্নিয়ার অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে কোন স্বচ্ছ তরলের প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ণয় (Determination of the refractive index of a transparent liquid by a travelling microscope)

মূলনীতি (Theory) :

পাত্রের মধ্যে গৃহীত কোন তরলের দিকে যদি বাতাস হইতে লম্বভাবে পর্যবেক্ষণ করা যায়, তাহা হইলে. আলোর প্রতিসরণের জন্য, ঐ তরলের গভীরতার মান উহার প্রকৃত মান অপেক্ষা অনেক কম বলিয়া মনে হয়।



চিত্র 7.3 : তরলমধ্যে আপাত গভীরতা

তরল মাধ্যমের তলদেশে যদি P একটি বিন্দু হয় (চিত্র 7.3), তাহা হইলে P বিন্দু হইতে আগত রশ্মিদ্বয় (যাহা PO-এর সহিত সমভাবে নত) PS_1 ও PS_2, তরলের উপরিতলে (S_1S_2) S_1Q_1 ও S_2Q_2 দিকে ধাবিত হইবে। উপর হইতে (বাতাস) কোন পর্যবেক্ষক যদি লম্বভাবে নিম্নদিকে তরলের দিকে তাকায়, তাহা

হইলে, তাহার নিকট তরলের তলদেশে P বিন্দু, P'-এর অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে। এই P' বিন্দু, S_1Q_1 ও S_2Q_2 কে পিছনদিকে বর্ধিত করিলে, তাহাদের ছেদবিন্দু হইবে।

যদি তরলের প্রতিসরাঙ্ক μ হয়, তাহা হইলে,

$$\mu=\frac{\sin Q_1S_1M}{\sin PS_1N}=\frac{\sin OP'S_1}{\sin OPS_1}=\frac{S_1P}{S_1P'} \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.3a)$$

যখন, পর্যবেক্ষণ কার্য লম্বভাবে করা হয়, তখন $\angle OP'S$ ও $\angle OPS$, অত্যন্ত অল্প হয় এবং ফলে,

$S_1P \simeq OP$ এবং $S_1P' \simeq OP'$

সুতরাং, $\mu=\dfrac{S_1P}{S_1P'}=\dfrac{OP}{OP'}=\dfrac{\text{তরলের প্রকৃত গভীরতা}}{\text{তরলের আপাত গভীরতা}}=\dfrac{u}{v}$ … (7.3b)

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

ভার্ণিয়ার অণুবীক্ষণ যন্ত্র : বিকার, লাইকোপোডিয়াম পাউডার, পরীক্ষাধীন তরল।

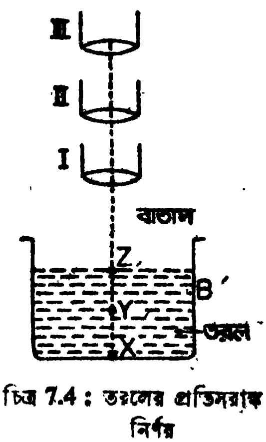
[সঞ্চরণশীল ভার্ণিয়ার অনুবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা ও কার্যবিধির জন্য 2·7 দ্রষ্টব্য]

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) সঞ্চরণশীল অনুবীক্ষণ যন্ত্রটিকে যথাযথভাবে স্থাপনা করিয়া উহার ক্রস-ওয়্যারকে ফোকাস্ করা হইল। উহার স্কেলের ভার্ণিয়ার ধ্রুবকও নির্ণয় করা হইল।

(ii) একটি শূন্য বিকার (B) লইয়া উহার তলদেশের ভিতর দিকে একটি চিহ্ন দাগ দেওয়া হইল ×)। এই বিকারটিকে ঐ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের উল্লম্ব স্তম্ভের নীচে রাখিলে, স্তম্ভটিকে উঠান-নামানো করিয়া ঐ দাগটিকে (×) স্পষ্টভাবে ফোকাস্ করা হইল। এই অবস্থায় (I) অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সংলগ্ন স্কেল হইতে, মূল স্কেল ও ভার্ণিয়ার স্কেল হইতে মোট পাঠ (a) লওয়া হইল।

(iii) ঐ অবস্থায় বিকারে কিছু পরিমাণ পরীক্ষাধীন তরল ঢালা হইল। ঐ দাগটির ×) এখন প্রতিবিম্ব উপরে Y স্থানে উঠিয়া আসিবে। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে এই প্রতিবিম্ব (Y) পুনরায় ফোকাস্ করিয়া পাঠ (b) লওয়া হইল। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অবস্থান এই অবস্থায় (II) স্থানে থাকে (চিত্র 7.4)।



চিত্র 7.4 : তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়

(iv তরলের উপরিতলকে ফোকাস্ করিবার জন্য কিছু লাইকোপোডিয়াম পাউডার তরলের উপরিতলে ছড়াইয়া দেওয়া হইল। অণুবীক্ষণ যন্ত্রটিকে এবার আরো উপরে তুলিয়া (III), ঐ পাউডারকে Z) ফোকাস্ করা হইল এবং স্কেলের পাঠ (c) লওয়া হইল।

(v) সুতরাং তরলের প্রকৃত গভীরতা $=u=(c-a)=ZX$ এবং আপাত গভীরতা $=v=(c-b)=ZY$.

(vi) তরলের গভীরতা পরিবর্তন করিয়া অর্থাৎ উহার পরিমাণ কমবেশী করিয়া আরো দুইটি বিভিন্ন গভীরতার জন্য u ও v-এর মান নির্ণয় করিয়া, প্রতিক্ষেত্রে μ-এর মান বাহির করা হইল এবং উহা হইতে μ-এর গড় মান নির্ণয় করা হইল।

ফল (Result) :

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের স্কেলের ভার্ণিয়ার ধ্রুবক নির্ণয়

স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান=……সেমি

ভার্ণিয়ার ধ্রুবক=……সেমি

শূন্য বিকারের তলদেশের দাগ (X)-এর জন্য অণুবীক্ষণের পাঠ (a)

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূলস্কেলের পাঠ (P) (সেমি)	ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ (Q) (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি) ($a=P+Q$)	গড় মান (সেমি) (a)
1	—	—	—	
2	—	—	—	—
3	—	—	—	
4	—	—	—	

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ 7.3b হইতে

তরলের প্রতিসরাঙ্ক $\mu=\dfrac{\text{তরলের প্রকৃত গভীরতা}}{\text{তরলের আপাত গভীরতা}}=\dfrac{c-a}{b-a}=\dfrac{u}{v}$. (সারণী-2 দ্রষ্টব্য)

তিনটি বিভিন্ন গভীরতার জন্য μ-এর তিনটি মান হইতে গড় μ-এর মান নির্ণয় করা হইল।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) বিকারের নীচে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের পাটাতনের উপর একটি সাদা কাগজ রাখিলে, বিকারের দাগটি খুব স্পষ্টভাবে ফোকাস্ করা সম্ভব হয়।

(ii) অণুবীক্ষণের দণ্ডটি যাহাতে উল্লম্ব থাকে, সেদিকে লক্ষ্য রাখিতে হইবে।

(iii) পাঠ লইবার সময়ে লম্বনত্রুটি (parallax error) দূর করিয়া পাঠ লইতে হইবে।

(iv) লাইকোপোডিয়াম পাউডার তরলে দ্রবীভূত হইলে বা ডুবিয়া যাইলে, কর্কের গুঁড়া লওয়া যাইতে পারে।

(v) তরলের গৃহীত গভীরতা, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা কম হওয়া প্রয়োজন।

দাগের প্রতিবিম্ব (Y) ও তরলতলের জন্য অণুবীক্ষণের পাঠ (b ও c)

সারণী-2

তরলের গভীরতা	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রতিবিম্বের জন্য (Y) পাঠ				তরলতলের জন্য (Z) পাঠ				তরলের প্রকৃত গভীরতা ($c-a$) (সেমি)	তরলের আপাত গভীরতা ($c-b$) (সেমি)	μ-এর মান
		মূলস্কেলের পাঠ (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি)	গড় পাঠ (b) (সেমি)	মূলস্কেলের পাঠ (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি)	গড় পাঠ (c) (সেমি)			
কম	1	—	—	—		—	—	—				
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	—	—	—		—	—	—				
মাঝারি	1	—	—	—		—	—	—				
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	—	—	—		—	—	—				
বেশী	1	—	—	—		—	—	—				
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	—	—	—		—	—	—				

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ প্রতিসরাঙ্ক কিরূপে তরলের প্রকৃত ও আপাত গভীরতার অনুপাতের দ্বারা নির্ণীত হইতেছে ?

উঃ [মূলনীতি দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ সকল তরলের ক্ষেত্রেই কি এই পদ্ধতি প্রযোজ্য ?

উঃ সাধারণতঃ সকল ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য, কেবলমাত্র উদ্বায়ী তরলের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি প্রযোজ্য হইবে না। সেক্ষেত্রে পরীক্ষাকালে, তরলের গভীরতা ক্রমশঃ হ্রাস পায়।

প্রঃ তরলের কি যে কোন গভীরতা লওয়া যায় ?

উঃ গভীরতার কোন উচ্চসীমা নাই—তবে, ঐ গভীরতা যেন কোন অবস্থাতেই অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা বেশী না হয়।

প্রঃ প্রতিসরাঙ্ক আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য (রং)-এর উপর নির্ভর করে। এই পরীক্ষায় সাদা আলো ব্যবহৃত হয়। তাহা হইলে প্রাপ্ত μ-এর মান কোন্ আলোর জন্য ?

উঃ মানুষের চক্ষু সাধারণতঃ সবুজে-হলুদ রং-এর ক্ষেত্রে সর্বাপেক্ষা সচেতন। সেজন্য সাদা আলোর ঐ উপাদানের (তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5550 A°) উপরই মানুষের চক্ষু অণুবীক্ষণ যন্ত্রকে ফোকাস্ করে। সেজন্য, এই পরীক্ষায় প্রাপ্ত μ-এর মান ঐ সবুজে-হলুদ রং-এর জন্য।

প্রঃ বিকারের তলদেশে ভিতরে দাগ না দিয়া উহার বাহিরে দিলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে তরলের প্রকৃত গভীরতা পাওয়া যাইবে না, কারণ বিকারের তলদেশের স্থূলতার মান (thickness) ঐ পাঠের মধ্যে আসিয়া যাইবে।

7·4 বস্তুর দূরত্ব এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব নির্ণয় করিয়া একটি লেখচিত্রের সাহায্যে একটি অবতল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a concave mirror by measuring object and image distances and drawing its (u—v) curve)

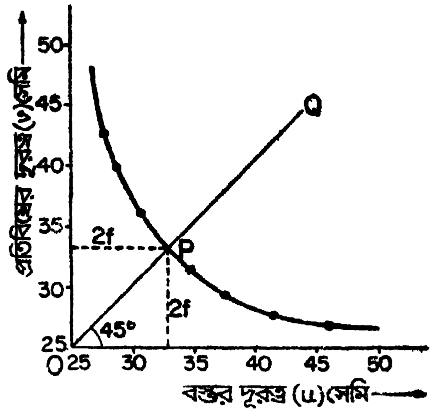
মূলনীতি (Theory) :

একটি অবতল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্বের বাহিরে কোন বস্তুকে রাখিলে, ঐ বস্তুর একটি স্পষ্ট সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। দর্পণের মেরু হইতে ঐ বস্তুর দূরত্ব (u) এবং গঠিত প্রতিবিম্বের দূরত্ব(v)-এর মধ্যেকার সম্পর্ক হইল, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ ... (7.4a)

যখন f-দর্পণের ফোকাস্-দূরত্বের মান নির্দেশ করে।

এখন, বস্তুটিকে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিয়া অর্থাৎ u-এর মান বিভিন্ন ভাবে পরিবর্তন

করিয়া, প্রত্যেক ক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v)-এর মান নির্ণয় করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিতে হইবে। ঐ লেখচিত্রে বস্তুর দূরত্ব (u), X-অক্ষ বরাবর এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v), Y-অক্ষ বরাবর প্রকাশ করিতে হইবে। এই দুই অক্ষের জন্য একই স্কেল নির্দিষ্ট করিতে হইবে এবং উহাদের মূলবিন্দুও সমান রাখিতে হইবে (চিত্র 7.5)। এখন X-অক্ষের সহিত 45° কোণ করিয়া একটি সরলরেখা (OD) টানিলে, ঐ সরলরেখা (u—v) লেখচিত্রকে P বিন্দুতে ছেদ করিবে। এই P বিন্দুর স্থানাঙ্ক হইবে ($2f$, $2f$)। সুতরাং, লেখচিত্র হইতে, ঐ P বিন্দুর কোটি বা ভুজের মান লইয়া তাহার অর্ধেক করিলে, দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব (f) পাওয়া যাইবে।



চিত্র 7.5 : ($u-v$) লেখচিত্র

কারণ সমীকরণ (7.4a) হইতে, যখন $u = v$, তখন

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}, \text{ বা } \frac{2}{v}=\frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } f=\frac{v}{2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \quad (7.4b)$$

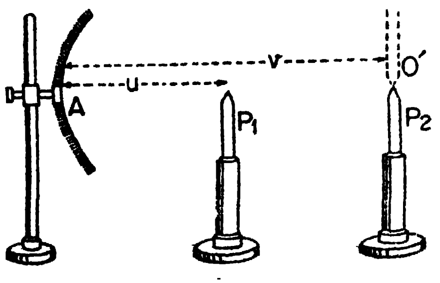
যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

উল্লম্বস্ট্যাণ্ডসহ একটি অবতল দর্পণ ; উল্লম্বস্ট্যাণ্ডসহ দুইটি পিন্ ; মিটার স্কেল।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) টেবিলের উপর অবতল দর্পণটিকে উহার স্ট্যাণ্ডে আটকানো হইল এবং দুইটি পিন্‌কে (P_1 ও P_2) যথাক্রমে তাহাদের স্ট্যাণ্ডে লাগানো হইল। পিন্ দুইটির সূক্ষ্ম অগ্রভাগ যেন দর্পণের মেরুর সহিত একটি অনুভূমিক সরলরেখায় থাকে (চিত্র 7.6)।

(ii) P_1-কে বস্তু ও P_2-কে প্রতিবিম্ব পিন্ হিসাবে ধরিয়া, P_1-কে দর্পণের দিকে বা উহা হইতে দূরে সরাইয়া আনিতে হইবে, যতক্ষণ না, উহার উল্টা সদ্‌প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। ঐ প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে এবং তাহা খালি চোখে দেখিতে পাইলে, পিন্ P_2-কে সরাইয়া আনিয়া ঐ প্রতিবিম্বের সহিত (O') এরূপে মিলাইতে হইবে যেন উহাদের মধ্যে কোন প্যারালাক্স বা লম্বনত্রুটি না থাকে।



চিত্র 7.6 : অবতল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়

(iii) ঐ অবস্থায় P_1 ও P_2 পিনের দূরত্ব দর্পণের মেরু হইতে মিটার স্কেলের

সাহায্যে মাপা হইল। ঐ দূরত্বই হইবে যথাক্রমে বস্তুর দূরত্ব (u) ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v)।

(iv) এইভাবে পিন্ P_1-কে আবার সামান্য সরাইয়া (2 বা 3 সেমি) নূতন অবস্থায় রাখা হইল এবং পূর্বের ন্যায় পিন্ P_2-এর দ্বারা উহার প্রতিবিম্ব ধরা হইল। এইরূপ অন্ততঃ 5 বা 6টি বস্তুর অবস্থান (u) ও তাহাদের প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) নির্ণয় করিতে হইবে।

(v) বস্তুর একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব (u) প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিবার সময়ে অন্ততঃ প্রতিটি ক্ষেত্রে 2/3 বার পিন্ P_2-কে সরাইয়া মান নির্ণয় করিতে হইবে এবং উহাদের গড় মান হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) পাওয়া যাইবে।

(vi) P_1 ও P_2 পিন্‌কে এরূপে স্থাপন করিতে হইবে যে যেন, অন্ততঃ 3টি ক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব (u) প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) অপেক্ষা বড় হয় অর্থাৎ ($u > v$) এবং 3টি ক্ষেত্রে যেন বস্তুর দূরত্ব প্রতিবিম্বের দূরত্ব অপেক্ষা ছোট হয়, অর্থাৎ ($u < v$)।

(vii) পরিশেষে, প্রাপ্ত বস্তুর দূরত্ব (u) ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) হইতে, পূর্বে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী ($u - v$) লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল।

[দ্রষ্টব্য : এই পরীক্ষা একটি অপটিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যেও করা যাইতে পারে।]

ফল (Results) :

বস্তুর দূরত্ব (u) ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) নির্ণয়

সারণী-1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	অবতল দর্পণের মেরু A হইতে		প্রতিবিম্বের দূরত্বের (v) গড় মান (সেমি)	লেখচিত্র হইতে P বিন্দুর স্থানাঙ্ক ($2f$ সেমি)	অবতল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব (f সেমি)
	P_1 পিন্-এর (বস্তুর) দূরত্ব (u সেমি)	P_2 পিন্-এর (প্রতিবিম্ব) দূরত্ব (v সেমি)			
1	—	— — —	—		
2	—	— — —	—	—	—
— — —	—	— — —	—		
6					

লেখচিত্র অঙ্কন

u ও v-এর বিভিন্ন মান লইয়া লেখচিত্র কাগজে মূলনীতিতে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী একটি লেখচিত্র (u—v curve) অঙ্কন করা হইল এবং সেই লেখচিত্র হইতে দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব (f)-এর মান নির্ণয় করা হইল।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) দূরত্ব মাপিবার সময়ে স্কেলের একপ্রান্ত যেন দর্পণের ঠিক মেরুকে স্পর্শ করে।

(ii) স্কেল অনুভূমিক থাকা প্রয়োজন।

(iii) প্রতিবিম্বের সহিত পিন্ P_2-এর যেন কোন লম্বনত্রুটি না থাকে।

(iv) বস্তু (পিন P_1) যেন দর্পণের ফোকাস্-দূরত্বের ভিতর (অর্থাৎ $u<f$) না থাকে, সেক্ষেত্রে অসদ্বিম্ব উৎপন্ন হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্র: দর্পণের ফোকাস্, ফোকাস্-দূরত্ব ; মেরু, বক্রতাকেন্দ্র, বক্রতা-ব্যাসার্ধ কাহাকে বলে ?

উ: [যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য]

প্র: অবতল দর্পণ কিরূপ প্রতিবিম্ব গঠন করে ?

উ: বস্তু যদি ফোকাস্-দূরত্ব হইতে অসীম দূরত্ব পর্যন্ত যে কোন স্থানে থাকে, তাহা হইলে সদ্বিম্ব হয়। ফোকাস্-দূরত্বের ভিতর বস্তু থাকিলে অসদ্বিম্ব হয়।

প্র: অনুবন্ধী ফোকাস্ (conjugate focii) কাহাকে বলে ?

উ: দুইটি বিন্দুকে অনুবন্ধী ফোকাস্ বলে যখন উহাদের মধ্যে যে-কোন একটিতে কোন বস্তু রাখিলে, অপর বিন্দুতে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

প্র: অবতল দর্পণ কি কোন কাজে লাগে ?

উ: আলোক রশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করার জন্যে এই দর্পণ ব্যবহৃত হয়।

প্র: অবতল ও উত্তল দর্পণে উৎপন্ন প্রতিবিম্বের পার্থক্য কি ?

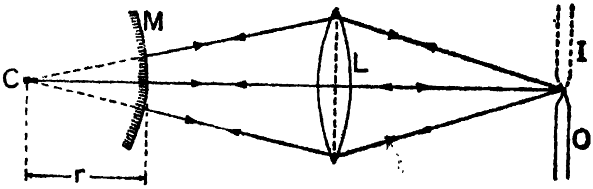
উ: অবতল দর্পণে সদ্ ও অসদ্ উভয়প্রকার প্রতিবিম্বই গঠিত হইতে পারে (বস্তুর অবস্থানের উপর নির্ভরশীল) কিন্তু উত্তল দর্পণে সর্বদা অসদ্বিম্ব উৎপন্ন হয় যাহা বস্তু অপেক্ষা আকারে ছোট হয় এবং সর্বদা বস্তুর মত সোজা (erect) হয়।

7·5 সহায়ক লেন্সের সাহায্যে একটি উত্তল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a convex mirror with the help of an auxiliary lens)

মূলনীতি (Theory) :

যখন কোন একটি বস্তু (O) একটি উত্তল লেন্স (L)-এর সম্মুখে এমন দূরে রাখা হয় যাহাতে ঐ বস্তুর একটি উল্টা সদ্বিম্ব (C) লেন্সের অপরদিকে উৎপন্ন হয় (চিত্র 7.7), তখন যদি একটি উত্তল দর্পণ (M) ঐ লেন্সের অক্ষরেখা বরাবর এমনভাবে স্থাপন করা হয়, যাহাতে ঐ দর্পণ প্রতিবিম্ব উৎপন্নকারী রশ্মিগুলিকে বাধা দেয় এবং ঐ রশ্মিগুলি দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় লেন্সের মাধ্যমে প্রতিসরিত হইয়া, বস্তু যেদিকে রহিয়াছে,

সেইদিকে বস্তুর একটি সদ্‌বিম্ব উৎপন্ন করে। এখন যদি CM দূরত্ব ঠিক ঐ উত্তল দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধের সমান হয়, তাহা হইলে, বস্তু হইতে উৎপন্ন আলোকরশ্মিগুলি লেন্সের ভিতর প্রতিসরিত হইয়া, ঐ দর্পণের উপর লম্বভাবে আপতিত হইবে এবং



চিত্র 7.7 : উত্তল দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়

প্রতিফলিত হইয়া একই পথে ফিরিয়া আসিয়া বস্তু যেখানে আছে (O), ঠিক সেই স্থানে বস্তুর একটি উল্টা সদ্‌বিম্ব (I) উৎপন্ন করিবে। যখন, এই প্রতিবিম্ব (I) বস্তুর (O) সহিত ঠিক মিলিয়া যাইবে, তখন CM দূরত্ব ঠিক দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধের (r) সমান হইবে। অর্থাৎ,

বক্রতা-ব্যাসার্ধ $(r) = CM$

এবং দর্পণের ফোকাস্-দূরত্ব $(f) = r/2 = \frac{1}{2}\ CM$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

উত্তল দর্পণ ; উত্তল লেন্স ; দুইটি পিন্ স্ট্যাণ্ডসহ ; মিটারস্কেল।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) লেন্স, দর্পণ ও পিন্ দুইটি পাশাপাশি রাখিয়া উহাদের উচ্চতা সমান করিয়া লওয়া হইল যাহাতে, লেন্স ও দর্পণের মেরু এবং পিনদ্বয়ের অগ্রভাগ ঠিক একই অনুভূমিক তলে থাকে।

(ii) বস্তু হিসাবে ব্যবহৃত পিন্‌টিকে (O) একটি নির্দিষ্ট স্থানে বসাইয়া বেশ কিছু দূরে অপর পিন্‌টিকে বসানো হইল এবং উভয়ের মধ্যখানে, লেন্সটিকে বসাইয়া, লেন্সটিকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া এমন স্থানে বসানো হইল যে যেন, O-পিনের সদ্‌প্রতিবিম্ব ঠিক অপর পিন্ (C)-এর উপর উৎপন্ন হয়।

(iii) প্রতিবিম্বের পিন্ (C)-কে সরাইয়া লম্বনত্রুটি দূর করিয়া বস্তুটির (O উল্টা সদ্‌প্রতিবিম্ব ঠিক C পিন্-এর সহিত মেলানো হইল।

(iv) দর্পণটিকে এরূপর লেন্স ও C পিন্-এর মধ্যবর্তী স্থানে স্থাপন করা হইল এবং উহার প্রতিফলন তল লেন্সের দিকে রাখা হইল। লেন্স, অথবা কোনো পিন্‌কে না নড়াইয়া, শুধুমাত্র দর্পণটিকে সামনে-পিছনে সরাইয়া, O-পিন-এর দিক হইতে দেখিয়া, দর্পণের দ্বারা প্রতিফলিত O পিন-এর প্রতিবিম্ব দেখা হইল।

(v) এবার কোন কিছু না নড়াইয়া শুধুমাত্র দর্পণটিকে সরাইয়া, ঐ প্রতিফলিত প্রতিবিম্বটিকে O-পিন্-এর সহিত মেলানো হইল যাহাতে কোন লম্বনত্রুটি না থাকে (চিত্র 7.7)।

(vi) স্কেলের সাহায্যে O-পিন্ হইতে দর্পণের (M) দূরত্ব (OM), লেন্সটিকে খুলিয়া ফেলিয়া মাপা হইল। তারপর দর্পণটিকে সরাইয়া, O-পিন্ হইতে C-পিন্-এর দূরত্ব (OC) মাপা হইল।

(vii) সুতরাং দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (r)-এর মান $OC-OM$ এবং ফোকাস্-দূরত্বের মান $= \frac{1}{2}(OC-OM)$

[**দ্রষ্টব্য :** যদি শুধু পিন্-এর পরিবর্তে অপটিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যে এই পরীক্ষাকার্য করা হয়, তাহা হইলে, সূচকত্রুটি (index error) নির্ণয় করিয়া অপটিক্যাল বেঞ্চের কার্যপদ্ধতি অনুযায়ী পরীক্ষাকার্য সম্পন্ন করিতে হইবে।]

(viii) লেন্সটিকে সামান্য (2-3 সেমি) সরাইয়া সমগ্র পরীক্ষাকার্যটি অন্ততঃ লেন্সের পাঁচটি বিভিন্ন অবস্থানের জন্য সম্পন্ন করা উচিত।

ফল (results) :

দর্পণ, লেন্স ও পিন্‌দ্বয়ের অবস্থান নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বস্তু অবস্থান (পিন্ O) (সেমি)	লেন্সের অবস্থান (সেমি)	প্রতিবিম্বের অবস্থান (পিন C) (সেমি)	দর্পণের অবস্থান (সেমি)	পিন্ O এবং পিন্ C এর মধ্যে দূরত্ব (সেমি)	পিন্ O এবং দর্পণ (M) এর মধ্যে দূরত্ব (সেমি)	দর্পণের বক্রতা ব্যাসার্ধ (r) ($CC-DN$)(সেমি)	দর্পণের ফোকাস্ দূরত্ব $f=\frac{r}{2}$
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—
3								
4								
5	—	—	—	—	—	—	—	—

সতর্কতা (Precautions) :

(i) লেন্সকে যথাসম্ভব বস্তুপিনের (O) নিকট রাখা বাঞ্ছনীয়। ফলে LC দূরত্ব যথেষ্ট হইবে, যাহা দর্পণের বক্রতা ব্যাসার্ধ অপেক্ষা বেশী হইবে। অবশ্য LO দূরত্ব যেন লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা কম না হয়।

(ii) এই পরীক্ষায় কম ব্যাসার্ধের লেন্স ও কম ব্যাসের দর্পণ ব্যবহার করা উচিত। তাহাতে পরীক্ষাকার্যের সুবিধা হয়।

(iii) লম্বনত্রুটি সর্বদা পরিহার করা কর্তব্য।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ উত্তল দর্পণ কিরূপ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে ?

উঃ অসদ্ প্রতিবিম্ব উৎপন্ন করে।

প্রঃ সেক্ষেত্রে প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব কিরূপে পিন্-এর সাহায্যে ধরা যায় ?

উঃ একটি সহায়ক উত্তল লেন্সের সাহায্যে ঐ প্রতিবিম্বকে সদ্ করা হয়।

প্রঃ লেন্সটি উত্তল না হইয়া অবতল হইলে কি কাজ চলিবে ?

উঃ না, সেক্ষেত্রে সদ্প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইবে না।

প্রঃ উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব কিরূপ হওয়া বাঞ্ছনীয় ?—ক্ষুদ্র না বৃহৎ ?

উঃ ক্ষুদ্র হওয়া বাঞ্ছনীয়, সেক্ষেত্রে বস্তুপিন্ (*O*) এবং লেন্সের মধ্যেকার দূরত্ব যথাসম্ভব অল্প করা সত্ত্বেও সদ্প্রতিবিম্ব তৈয়ারী হইবে।

প্রঃ লেন্স ও দর্পণের ক্ষেত্রে উন্মেষ রোধক (aperture) অল্প হওয়া কেন বাঞ্ছনীয় ?

উঃ সেক্ষেত্রে গোলীয় অপেরণ (spherical aberration)-এর মান কম হইবে।

প্রঃ উত্তল দর্পণের কোন ব্যবহার আছে কি ?

উঃ হ্যাঁ, মোটরগাড়ী ইত্যাদিতে পিছনের বস্তু দেখিবার জন্য এই ধরনের দর্পণ ব্যবহার করা হয়।

7·6 উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব ও প্রতিবিম্বের দূরত্বের মধ্যে লেখচিত্র অঙ্কন করিয়া লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় (Determination of the focal length and power of a convex lens by drawing graph between its object distance and image distance)

মূলনীতি (Theory) :

উত্তল লেন্স হইতে একটি বস্তুকে যদি কিছু দূরে রাখা যায় (দূরত্ব যদি লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা বেশী হয়) তাহা হইলে ঐ লেন্সের দ্বারা বস্তুর একটি উল্টা সদ্বিম্ব লেন্সের অপরদিকে উৎপন্ন হইবে। যদি বস্তুর দূরত্ব লেন্স হইতে u এবং সদ্বিম্বের দূরত্ব v হয় এবং যদি লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব f হয়, তাহা হইলে,

$$\left(\frac{1}{v}+\frac{1}{u}\right)=-\frac{1}{f}$$ (যেহেতু প্রথানুযায়ী উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব ঋণাত্মক হয়) ... ... (7.6a)

সংজ্ঞানুযায়ী লেন্সের ক্ষমতা বলিতে বুঝায়, মিটারে প্রকাশিত লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের অন্যোন্য বা বিপরীত (reciprocal) রাশি, সুতরাং, লেন্সের ক্ষমতা (power) যদি P হয়, তাহা হইলে,

$$P=-\frac{100}{f}$$ ডায়াপ্টার (dioptre) ... ... (7.6b)

লেন্সের কেন্দ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব (u) বিভিন্ন করিয়া যদি বিভিন্ন সদ্বিম্বের দূরত্ব (v) পরিমাপ করা যায় এবং u ও v-এর ঐ মানগুলি একটি লেখচিত্রে প্রকাশ করা হয়, তাহা হইলে, ঐ লেখচিত্র হইতে লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় করা যাইবে।

('লেখচিত্র-অঙ্কন' পরে দ্রষ্টব্য।)

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

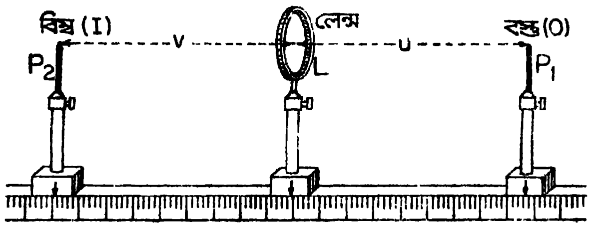
অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চ ; উত্তল লেন্স ; দুইটি পিন্ ; স্লাইড ক্যালিপার্স ; সূচক-দণ্ড (index rod), মিটার স্কেল।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে উত্তল লেন্সের ঠিক মধ্যস্থলের বেধ (t) নির্ণয় করা হইল এবং এই পাঠ কয়েকবার লইয়া গড় বেধ (t) এবং তাহার অর্ধেক ($t/2$) নির্ণয় করিয়া রাখা হইল।

(ii) অপটিক্যাল বেঞ্চের মধ্যস্থলে একটি লেন্স ধারকের সাহায্যে, উত্তল লেন্সটিকে আটকানো হইল। ঐ ধারকটিকে বেঞ্চের প্রায় মাঝামাঝি রাখা হইল।

(iii) বেঞ্চের একপ্রান্তে একটি পিন্‌কে (P_1) আটকানো হইল। ইহাই পরীক্ষায় বস্তু (O) হিসাবে কাজ করিবে (চিত্র 7.8)।



চিত্র 7.8 : অপটিক্যাল বেঞ্চ

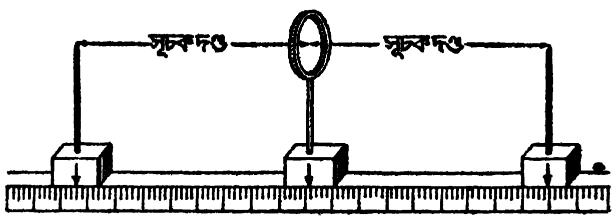
(iv) বেঞ্চের অপরপ্রান্তে আর একটি পিনকে (P_2) স্থাপন করা হইল। উহাদের সকলের উচ্চতা এমনভাবে ঠিক করা হইল যাহাতে, দুইটি পিন্-এর সূক্ষ্মাগ্রভাগ লেন্সের মধ্যবিন্দুর সহিত একই অনুভূমিক তলে থাকে।

(v) বস্তুপিন্‌কে (P_1) স্থির রাখিয়া লেন্সকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া বস্তুর একটি উল্টা সদ্‌বিম্ব সৃষ্টি করা হইল। এখন পিন্ P_2-কে সরাইয়া উৎপন্ন ঐ প্রতিবিম্বের সহিত এমনভাবে মিলানো হইল যে, যেন প্রতিবিম্ব ও পিন্-এর মধ্যে কোন লম্বনত্রুটি না থাকে।

(vi) এই অবস্থায় একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে পিন্ P_1 ও লেন্সের মধ্যেকার ঠিক দূরত্ব (u) এবং লেন্স ও প্রতিবিম্ব পিন্ P_2-এর মধ্যেকার ঠিক দূরত্ব (v) নির্ণয় করা হইল। একই অবস্থায় P_1 দণ্ডের নিচের সূচকের অবস্থান, লেন্সষ্ট্যাণ্ডের সূচকের অবস্থান এবং P_2 দণ্ডের নীচের সূচকের অবস্থান অপটিক্যাল বেঞ্চের সহিত প্রদত্ত স্কেলের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। এই পাঠগুলি এবং স্কেলের পাঠগুলি হইতে বস্তু দূরত্ব (u) ও বিম্বদূরত্ব (v)-এর সূচকত্রুটির (index error)-এর মান নির্ণয় করা হইল। বিকল্প ব্যবস্থা হিসাবে, একটি সূচকদণ্ডকে (index rod) উহার দুইপ্রান্ত যথাক্রমে পিন P_1 ও লেন্সের গায়ে ঠেকাইয়া, বেঞ্চ হইতে পাঠ লওয়া হইল। সূচকদণ্ডের ঠিক দৈর্ঘ্য মাপিয়া, ঐ

সূচকত্রুটি (বস্তুর দূরত্বের ক্ষেত্রে) নির্ণয় করা যাইতে পারে। অনুরূপভাবে, পিন P_2 ও লেন্সের মধ্যে সূচকদণ্ডটি রাখিয়া, বিম্বদূরত্বের ক্ষেত্রে সূচকত্রুটি নির্ণয় করা যায় (চিত্র 7.9)।

(vii) এইভাবে, লেন্স ও পিন্ P_1 একটি নির্দিষ্ট অবস্থানের জন্য, পিন্ P_2-কে তিনবার সরাইয়া, প্রতিবারে পাঠ লওয়া হইল এবং গড় বিম্বদূরত্ব নির্ণয় করা হইল। অনুরূপভাবে, পিন্ P_1-কে আবার সরাইয়া নূতন বস্তুদূরত্বের জন্য গড় বিম্বদূরত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। এইরূপে, অন্ততঃ 5/6টি ভিন্ন ভিন্ন বস্তুদূরত্বের জন্য প্রতিক্ষেত্রে বিম্বদূরত্ব নির্ণয় করা হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, বস্তুদূরত্ব যেন সম্ভাব্য ফোকাস্-দূরত্বের দ্বিগুণ ($2f$)-এর অপেক্ষা বেশী ও কম অর্থাৎ ($u<2f$ ও $u>2f$)—এই দুই ধরনেরই মান থাকে।

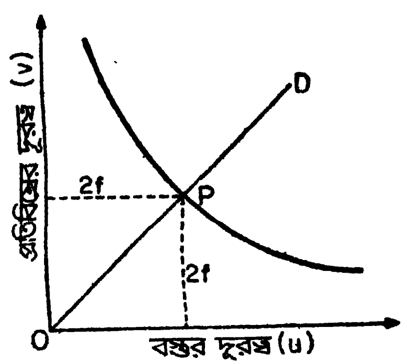


চিত্র 7.9 : সূচকত্রুটি নির্ণয়

(viii) পরিশেষে, সূচকত্রুটি নির্ণয় করিয়া (বস্তুদূরত্ব ও বিম্বদূরত্বের ক্ষেত্রে পৃথকভাবে) সংশোধিত বস্তুদূরত্ব (লেন্সের বেধের অর্ধেক-এর মান যোগ করিয়া) ও একইভাবে সংশোধিত বিম্বদূরত্ব নির্ণয় করা হইল।

লেখচিত্র অঙ্কন

প্রাপ্ত সংশোধিত বস্তুদূরত্ব (u') ও বিম্বদূরত্ব (v')-কে যথাক্রমে একটি লেখচিত্রের ভুজ ও কোটি বরাবর স্থাপনা করিয়া এবং উভয় অক্ষে একই মূলবিন্দু ও স্কেল হইয়া, u' ও v'-এর মানগুলি বসানো হইল। অঙ্কিত লেখচিত্রটি একটি সমপরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হইবে। ঐ লেখচিত্রের মূলবিন্দু O হইতে (চিত্র 7.10) একটি সরলরেখা OQ যদি x-অক্ষের সহিত 45° কোণ করিয়া টানা হয়, তাহা হইলে, ঐ রেখা লেখচিত্রটিকে P বিন্দুতে ছেদ করে। এই P বিন্দুর ভুজ ও কোটির মান সমান ($=2f$)। এই ভুজ বা কোটির মানের



চিত্র 7.10 : (u – v) লেখচিত্র

অর্ধেক লইলে, লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব f-এর মান পাওয়া যাইবে, কারণ, সমীকরণ (7·6 a) হইতে, যখন $u=v$

$$\text{তখন,} -\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{2}{u}=\frac{2}{v}$$

$$\text{বা,} \quad -f=v/2=u/2 \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.6c)$$

লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয়

লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f)-এর মান নির্ণয় করিয়া, উহা চিহ্নসমেত (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে ঋণাত্মক) সমীকরণ (7.6b)-এ বসাইলে, লেন্সের ক্ষমতা (Power) পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

উত্তল লেন্সের বেধ (t) নির্ণয়

সারণী-1

স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্ণিয়ার স্থিরাঙ্ক = ...সেমি.

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূলস্কেলের পাঠ (M) সেমি	ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ (V) সেমি	মোট পাঠ ($M+V$) (সেমি)	গড় পাঠ (সেমি) ব্যাস (t)	ব্যাসার্ধ ($\frac{t}{2}$) সেমি
1	—	—	—		
2	—	—	—	—	—
3	—		—		
4	—	—	—		

সূচকত্রুটির মান নির্ণয়
সারণী-2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দণ্ডের দৈর্ঘ্য (সেমি)	দণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য (সেমি) (l)	বেঞ্চস্কেল হইতে স্ট্যাণ্ডদ্বয়ের পাঠের পার্থক্য যখন দণ্ডের দুইপ্রান্ত		বস্তু ও লেন্সের মধ্যে সূচক ত্রুটি (δ_1) (বস্তুর দূরত্বের ক্ষেত্রে)	বিম্ব ও লেন্সের মধ্যে সূচক ত্রুটি (δ_2) (বিম্বদূরত্বের ক্ষেত্রে)
			লেন্সের মধ্যবিন্দু ও পিন P_1 কে স্পর্শ করে (l_1)	লেন্সের মধ্যবিন্দু ও পিন P_2 কে স্পর্শ করে (l_2)		
1	—		—	—	—	—
2	—	—	— $\}= l_1$ সেমি	— $\}= l_2$ সেমি	$\delta_1 = (l - l_1)$ সেমি	$\delta_2 = (l - l_2)$ সেমি
3	—		—	—		

বস্তুর দূরত্ব (u) ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) নির্ণয়

সারণী-3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বেঞ্চের স্কেল হইতে				বস্তুর আপাত দূরত্ব (u') (সেমি) $(Y \sim X)=u'$	বস্তুর প্রকৃত দূরত্ব লেন্স হইতে (u), সেমি $u=u+\delta_1+\frac{t}{2}$	সদ্বিম্বের আপাত দূরত্ব (v') লেন্স হইতে (সেমি) $(Z \sim Y)=\iota'$	সদ্বিম্বের প্রকৃত দূরত্ব (u) সেমি লেন্স হইতে $v=v'+\delta_2+\frac{t}{2}$
	বস্তুর অবস্থান (পিন P_1) (সেমি) (X)	লেন্সের অবস্থান (সেমি) (Y)	বিম্বের অবস্থান (পিন P_2) (সেমি) (Z)	বিম্বের গড় অবস্থান (সেমি) (গড়) z				
1	—	—	— — —	—	—	—	—	—
2	—	—	— — —	—	—	—	—	—
—								
—								
6	—	—	— — —	—	—	—	—	—

(u-v) লেখচিত্র অঙ্কন :

লেখচিত্র কাগজে X-অক্ষ বরাবর বস্তুর দূরত্ব (u) এবং Y-অক্ষ বরাবর বিম্বের দূরত্ব (v) স্থাপনা করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। লেখচিত্রের মূলবিন্দু ও স্কেল কিরূপে লইতে হইবে তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। চিত্র 7.10 হইতে OQ সরলরেখা লেখচিত্রটিকে যদি P বিন্দুতে ছেদ করে, তাহা হইলে P বিন্দুর ভুজ বা কোটির মান হইবে $2f$-এর সমান। অর্থাৎ, P বিন্দুর ভুজ বা কোটির মানের অর্ধেক হইবে লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f)।

লেখচিত্র অঙ্কন করিতে, সারণী 3 হইতে লইয়া বস্তুর এবং বিম্বের সংশোধিত প্রকৃত দূরত্বগুলির জন্য নিম্নবর্ণিত একটি সারণী করিয়া লওয়া বাঞ্ছনীয়।

সারণী-4

বস্তুর প্রকৃত দূরত্ব (u) (সেমি)							
বিম্বের প্রকৃত দূরত্ব (v) (সেমি)							

লেখচিত্র হইতে (চিত্র 7.10) P বিন্দুর ভুজ বা কোটির মান $(2f) = \cdots$সেমি

সুতরাং, প্রদত্ত উত্তল লেন্সের

ফোকাস্-দূরত্ব $(f) = (-)\ldots$সেমি

অতএব, লেন্সের ক্ষমতা (P)

$$= -\frac{100}{f} = + \quad \text{ডায়াপ্টার}$$

[**দ্রষ্টব্য :** এই পরীক্ষাটি অপটিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যে পিন-এর পরিবর্তে অন্ধকার ঘরে আলোকউৎস ও পর্দা লইয়াও করা যাইতে পারে। সেক্ষেত্রেও পরীক্ষা-পদ্ধতি একই রকম হইবে।]

সতর্কতা (Precautions) :

(i) লেন্স হইতে বস্তুকে সর্বদা লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের বাহিরে রাখিতে হইবে, নচেৎ সদ্‌বিম্ব পাওয়া যাইবে না। এজন্য, লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের মান অনুমান করিয়া লওয়া যাইতে পারে অন্য কোন উপায়ে।

(ii) বস্তুদূরত্ব (u) ও বিম্বদূরত্ব (v) যথাসম্ভব কাছাকাছি রাখা প্রয়োজন। সেক্ষেত্রে f-এর মাননির্ণয়ে আনুপাতিক ভুলের মান কম হয়।

(iii) বস্তুর দূরত্বের মান (u) কয়েকটি $2f$-এর বেশী এবং কয়েকটি $2f$-এর কম লইলে, লেখচিত্রটি যথার্থভাবে অঙ্কিত হইবে।

(iv) প্রতি ক্ষেত্রে লম্বনত্রুটি অবশ্যই দূর করিতে হইবে।

(v) সূচকত্রুটির মান সতর্কতার সহিত নির্ণয় করা প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব বলিতে কি বোঝায়?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব কয়টি এবং ফোকাস্-দূরত্ব বলিতে সাধারণতঃ কোন্ ফোকাস্-দূরত্বকে বোঝায়?

উঃ প্রতি লেন্সের দুইটি ফোকাস্-দূরত্ব থাকে। কোন বস্তু লেন্স হইতে যে দূরত্বে থাকিলে উহার প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে হয়, তখন লেন্স হইতে বস্তুর সেই দূরত্বকে 'প্রথম ফোকাস্-দূরত্ব' বলে। কিন্তু বস্তু অসীম দূরত্বে থাকিলে, যে দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, সেই দূরত্বকে 'দ্বিতীয় ফোকাস্-দূরত্ব' বলে। সাধারণ ফোকাস্-দূরত্ব বলিলে, দ্বিতীয় ফোকাস্-দূরত্বকে বোঝায়।

প্রঃ ফোকাস্-দূরত্ব কিসের উপর নির্ভর করে?

উঃ উহা লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর উপর নির্ভর করে, যাহা আবার আলোর রং-এর উপর বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে।

প্রঃ লেন্সের বেধের অর্ধেক যোগ করা হয় কেন?

উঃ বস্তু বা বিম্বের দূরত্ব মাপা হয় লেন্সের গাত্রদেশ থেকে, কিন্তু উহাদের প্রকৃত দূরত্ব হওয়া উচিত লেন্সের আলোককেন্দ্র (optical centre) হইতে, সেজন্য আপাত দূরত্বের সহিত বেধের অর্ধেক যোগ করা হয়।

প্রঃ এই পরীক্ষায় কি সর্বদাই সদ্‌বিম্ব তৈয়ারী হইবে?

উঃ যদি বস্তুর দূরত্ব লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের চেয়ে কম হয়, তাহা হইলে সদ্‌বিম্ব উৎপন্ন হইবে না।

প্রঃ লেন্সের ক্ষমতার সহিত ফোকাস্-দূরত্বের সম্পর্ক কি রকম?

উঃ ক্ষমতা ও ফোকাস্-দূরত্ব পরস্পর ব্যাস্তহারী (inverse)।

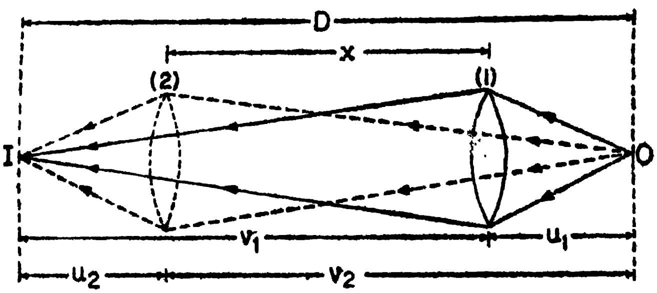
7·7 'সরণ পদ্ধতি' উপায়ে অপটিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যে কোন উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব এবং ক্ষমতা নির্ণয় (Determination of the focal length and power of a convex lens by employing 'displacement' method with the help of an optical bench)

মূলনীতি (Theory) ঃ

যখন কোন বস্তু (object) ও পর্দার (screen) মধ্যেকার দূরত্ব (D) একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের (f) চার গুণের বেশী হয়, তখন ঐ লেন্সটিকে বস্তু ও পর্দার মধ্যে রাখিলে, লেন্সের দুইটি অবস্থান পাওয়া যায় (বস্তুর ও পর্দার অবস্থান স্থির রাখিয়া) যাহার জন্য বস্তুর সুস্পষ্ট সদ্‌বিম্ব পর্দার উপর গঠিত হয় (চিত্র 7.11)। যদি লেন্সের

এই দুই অবস্থানের মধ্যেকার দূরত্ব x সেমি হয় এবং পর্দা ও বস্তুর মধ্যেকার দূরত্ব D সেমি হয়, তাহা হইলে, ঐ উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f)-এর মান হইবে

$$f = -\frac{D^2 - x^2}{4D} \text{ সেমি} \quad \cdots (7.7a)$$



চিত্র 7.11 : লেন্সের দুই অবস্থান

এবং লেন্সের ক্ষমতা $P = +\frac{100}{f}$ ডায়োপ্‌টার $\cdots (7.7b)$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

অপটিক্যাল বেঞ্চ ; উত্তল লেন্স ; স্ট্যাণ্ডসহ আলোকউৎস ; স্ট্যাণ্ডসহ পর্দা ; সূচক দণ্ড।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

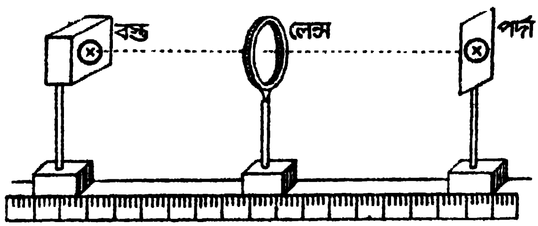
(i) প্রথমে আলোকউৎসের স্ট্যাণ্ড (O) ও পর্দার স্ট্যাণ্ড (I)-এর মধ্যে সূচকত্রুটি সূচকদণ্ডের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল। এই ত্রুটির মান a ধরা যাইতে পারে। ইহা নির্ণয় করিবার জন্য (7·6) পরীক্ষায় বর্ণিত পদ্ধতি অবিকল অবলম্বন করিতে হইবে।

(ii) আলোকউৎসের সামনে রাখা একটি (×) চিহ্নকে এই পরীক্ষার বস্তু হিসাবে গণ্য করা হইবে। উৎসের স্ট্যাণ্ড, লেন্সধারী স্ট্যাণ্ড এবং পর্দার স্ট্যাণ্ড এই তিনটিকে ঠিক এমনভাবে বেঞ্চে রাখা হইল, যাহাতে উহাদের কেন্দ্রবিন্দুগুলি সকলে অনুভূমিক তলে একই সরলরেখায় থাকে।

(iii) পর্দার স্ট্যাণ্ডগুলি এবার বেঞ্চের অপরপ্রান্তের দিকে আটকানো হইল এবং আলোকউৎসের স্ট্যাণ্ডটিকে আর একপ্রান্তে রাখা হইল (চিত্র 7.12)। মধ্যের স্ট্যাণ্ডে লেন্সটিকে আটকানো হইল।

(iv) লেন্সটিকে এবার সরাইয়া একবার পর্দার দিকে এবং একবার (×) চিহ্নের দিকে লওয়া হইল এবং দেখা গেল যে, এই দুই অবস্থানের জন্য, পর্দার উপর দুইবার (×)

চিহ্নের সদ্বিম্ব গঠিত হয়। (যদি বস্তু ও পর্দার মধ্যকার দূরত্ব, লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের 4 গুণের বেশী না হয়, তাহা হইলে দুইবার সদ্বিম্ব পাওয়া যাইবে না। সেক্ষেত্রে, পর্দা ও বস্তুর দূরত্ব আরো বেশী করিয়া লইতে হইবে।)



চিত্র 7.12 : অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চে বস্তু, লেন্স ও পর্দা

(v) লেন্সটিকে এই দুই অবস্থানের প্রত্যেক জায়গায় ঠিকমত রাখিয়া পর্দার উপর সদ্বিম্বকে স্পষ্ট করিয়া লইতে হইবে। এই অবস্থায় লেন্সের ঐ দুই অবস্থানের পাঠ বেঞ্চের স্কেল হইতে লইতে হইবে। এই দুই পাঠের ব্যবধান হইবে x সেমি।

(vi) পর্দা ও বস্তুর একই অবস্থানের জন্য লেন্সটিকে দুই অবস্থানে প্রতিক্ষেত্রে উহাকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া, অন্ততঃ তিনবার করিয়া পাঠ লইতে হইবে এবং তাহাদের গড় পাঠ লইতে হইবে।

(vii) লক্ষ্য করা যায় যে, যখন লেন্সটি বস্তুর নিকটে থাকে, তখন উৎপন্ন প্রতিবিম্ব বড় (magnified) হয় এবং যখন লেন্স পর্দার কাছে থাকে, তখন প্রতিবিম্ব ছোট (diminished) হয়।

(viii) পর্দার অবস্থানের পাঠ এবং উৎসের অবস্থানের পাঠ বেঞ্চস্কেল হইতে লইতে হইবে। এই পাঠদ্বয়ের ব্যবধান হইবে D সেমি।

(ix) পর্দা ও উৎসের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া, অর্থাৎ, D-এর মান পরিবর্তন করিয়া মোট তিনবার (D-এর তিনটি মানের জন্য) সমগ্র পাঠ লইতে হইবে। কিন্তু কোন অবস্থাতেই যেন $D<4f$ না হয়।

(x) D-এর প্রতিটি মানের জন্য, x-এর মান বাহির করিয়া সমীকরণ (7.7a) হইতে লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের মান এবং সমীকরণ (7.7b) হইতে লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় করিতে হইবে।

(xi) D-এর মান সূচকত্রুটির সাহায্যে সংশোধন করিয়া, সংশোধিত মান লইতে হইবে।

ফল (Results) :

পর্দার স্ট্যাণ্ড ও আলোক-উৎসের স্ট্যাণ্ড-এর জন্য সূচকত্রুটি নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	সূচকদণ্ডের দৈর্ঘ্য (সেমি)	দণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	বস্তুকে ও পর্দাকে যখন দণ্ড স্পর্শ করে, তখন বেঞ্চে		দুই পাঠের গড় পার্থক্য (l_1) ($A \sim B$) সেমি	পর্দা ও বস্তুর মধ্যে সূচক-ত্রুটি $\delta = (l - l_1)$ সেমি
			বস্তুর (×) স্ট্যাণ্ডের পাঠ (A) সেমি	পর্দার স্ট্যাণ্ডের পাঠ (B) সেমি		
1	—		—	—		
2	—	—	—	—	—	—
3	—		—	—		

পর্দা ও বস্তুর মধ্যেকার দূরত্ব (D) এবং লেন্সের সরণের (x) মান নির্ণয়

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বস্তুর অবস্থান (X) সেমি	পর্দার অবস্থান (Y) সেমি	বস্তু ও পর্দার মধ্যে আপাত দূরত্ব (D) সেমি	বস্তু ও পর্দার মধ্যে সংশোধিত দূরত্ব ($D+\delta$) (সেমি)	লেন্সের প্রথম অবস্থানের জন্য বেঞ্চের পাঠ (M) সেমি	M-এর গড় মান (সেমি)	লেন্সের দ্বিতীয় অবস্থানের জন্য বেঞ্চের পাঠ (N) সেমি	N-এর গড় মান (সেমি)	লেন্সের সরণ $x=(M\sim N)$	লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব $f=-\frac{D^2-x^2}{4D}$ (সেমি)	ফোকাস্-দূরত্বের গড় মান (সেমি)	লেন্সের ক্ষমতা $P=+\frac{100}{f}$
1	—	—	—	—	— — —	—	— — —	—	—			
2	—	—	—	—	— — —	—	— — —	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	— — —	—	— — —	—	—	—		ডায়াপ্টার
4	—	—	—	—	— — —	—	— — —	—	—	—		

হিসাব (Calculations) :

সমীকরণ (7.7a) হইতে

$$f = -\frac{D^2 - x^2}{4D} = -\cdots\cdots \text{সেমি}$$

এবং সমীকরণ (7.7b) হইতে

$$P = +\frac{100}{f} = \cdots\cdots\cdots \text{ডায়াপ্টার}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) x-এর মান যত কম হইবে, f-এর মানে তত ভুল কম হইবে, সেজন্য D-এর মান এমনভাবে স্থির করিতে হয় (অবশ্য $D > 4f$) যাহাতে x-এর মান কম হয়।

(ii) D-এর মান অল্প পরিবর্তন করিলে, x-এর মানে অনেক পরিবর্তন হইয়া যায়। সেজন্য D-এর মান অল্প করিয়া পরিবর্তন করা বাঞ্ছনীয়।

[**দ্রষ্টব্য** : সমীকরণ (7.7a)-কে লেখা যাইতে পারে

$$4fD = -D^2 + x^2 \; ; \quad \text{বা,} \quad x^2/D = D + 4f$$

সুতরাং, যদি x^2/D-কে কোটি (y-অক্ষ) এবং D-কে ভুজ (x-অক্ষ) ধরিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায়, তাহা হইলে ঐ লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে। ঐ সরলরেখা x-অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে সেই বিন্দুর স্থানাংক যথাক্রমে $(-4f, O)$ কারণ

$$y = x^2/D = 0 \; ; \quad \text{অর্থাৎ,} \quad D + 4f = 0 \; ; \quad \text{বা,} \quad D = -4f$$

সুতরাং, লেখচিত্রটি x-অক্ষরেখাকে যে বিন্দুতে ছেদ করে, তাহার মান $4f$-এর সমান।]

প্রশ্নোত্তর

[7 7 পরীক্ষায় প্রদত্ত প্রশ্নোত্তরগুলি প্রথমে দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (u v) পদ্ধতি এবং এই পদ্ধতি— উভয় দ্বারাই নির্ণয় করা যায়। কোন্ পদ্ধতিটি সুবিধাজনক এবং কেন ?

উঃ 'সরল' পদ্ধতিটি সুবিধাজনক, কারণ এই পদ্ধতিতে কেবল দুইটি দূরত্ব (D ও x) মাপিতে হয়, যাহা অত্যন্ত সূক্ষ্মতার সঙ্গে মাপা যায়। (u-v) পদ্ধতিতে লেন্সের আলোকবিন্দু হইতে বস্তুর দূরত্ব এবং বিম্বের দূরত্ব পরিমাপ করা প্রয়োজন। সেগুলি অত্যন্ত সূক্ষ্মতার সঙ্গে মাপা যায় না। দ্বিতীয়তঃ এই পদ্ধতিতে লেন্সের বেধ-এর মান জানার কোন প্রয়োজন নাই।

প্রঃ বস্তু ও পর্দার মধ্যেকার দূরত্ব যদি $4f$-এর কম হয়, তাহা হইলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে লেন্সের একটি অবস্থানের জন্য একটিমাত্র বিম্ব পাওয়া যাইবে, দ্বিতীয় প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে না।

প্রঃ যদি লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে I_1 ও I_2 হয়, তাহা হইলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য কত হইবে ?

উঃ বস্তুর দৈর্ঘ্য হইবে $O = \sqrt{I_1 I_2}$.

প্রঃ বস্তু ও পর্দার মধ্যেকার দূরত্ব কি খুব বেশী লওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ না, সেক্ষেত্রে x-এর মান খুব বেশী হইবে এবং প্রতিবিম্বের আকার একবার খুব বড় এবং একবার খুব ছোট হইবে।

7·8 বেশী ক্ষমতাসম্পন্ন একটি উত্তল লেন্সকে একটি অবতল লেন্সের সহিত যুক্ত করিয়া, অপটিক্যাল বেঞ্চের সাহায্যে ঐ অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a concave lens, by using an optical bench, and by combining it, with a convex lens of greater power)

মূলনীতি (Theory) :

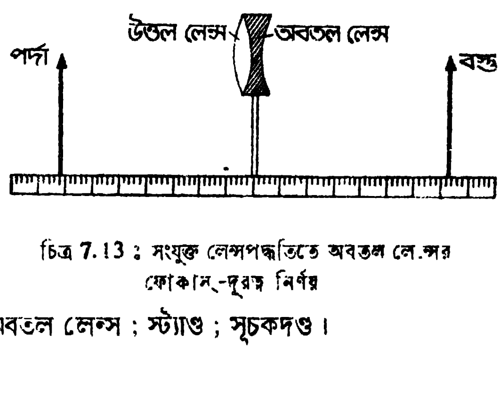
দুইটি সরু লেন্সকে যদি একত্র যুক্তভাবে রাখা হয়, তাহা হইলে তুল্যমান (equivalent) ফোকাস্-দূরত্ব হইবে (চিত্র 7.13) ।

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.8a)$$

যখন, f_1 ও f_2 যথাক্রমে ঐ দুইটি লেন্সের পৃথক ফোকাস্-দূরত্ব । এই দুইটি লেন্সের মধ্যে যদি একটি উত্তল লেন্স হয় (ফোকাস্-দূরত্ব যাহার f_1) এবং অপরটি অবতল লেন্স হয় (ফোকাস্-দূরত্ব যাহার f_2) এবং যদি সংযুক্ত লেন্সটি অভিসারী লেন্স হিসাবে ব্যবহার করে, তাহা হইলে, যথাযথ চিহ্ন বসাইয়া সমীকরণ (7.8a) হয়,

$$-\frac{1}{F}=-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

$$\text{বা, } f_2=\frac{Ff_1}{F-f_1} \quad \cdots \quad (7.8b)$$



চিত্র 7.13 : সংযুক্ত লেন্সপদ্ধতিতে অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

অপটিক্যাল বেঞ্চ ; উত্তল লেন্স ; অবতল লেন্স ; স্ট্যাণ্ড ; সূচকদণ্ড ।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে সূচকদণ্ডের সাহায্যে অপটিক্যাল বেঞ্চে বস্তু ও পর্দার মধ্যেকার সূচকত্রুটির মান পূর্বে বর্ণিত (পরীক্ষা 7·7) পদ্ধতি অনুযায়ী নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে ।

(ii) পরীক্ষা 7·7 অনুযায়ী, 'সরণ পদ্ধতি' অবলম্বন করিয়া শুধুমাত্র উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f_1) এবং পরে সংযুক্ত লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (F) নির্ণয় করিতে হইবে ।

(iii) f_1 ও F-এর মানগুলি (চিহ্ন বাদে) সমীকরণ (7.8 b)-এ বসাইলে, অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f_2)-এর মান চিহ্নসমেত পাওয়া যাইবে ।

ফল (Results) :

আলোক উৎস ও পর্দার স্ট্যাণ্ডের জন্য সূচকত্রুটির মান নির্ণয়

সারণী—1

[7·7 পরীক্ষার সারণী—1-এর অনুরূপ হইবে]

উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f_1) নির্ণয়

সারণী—2

[7.7 পরীক্ষার সারণী—2-এর অনুরূপ হইবে]

সংযুক্ত লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (F) নির্ণয়

সারণী—3

[7·7 পরীক্ষার সারণী—2 এর অনুরূপ হইবে]

হিসাব (Calculations) :

(a) উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব $f_1 = -\frac{D_1{}^2 - x^2{}_1}{4D_1} = - \ldots\ldots$ সেমি

(b) সংযুক্ত লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব $F = -\frac{D_2{}^2 - x_2{}^2}{4D_2} = - \ldots\ldots$ সেমি

(c) অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব $f_2 = \frac{Ff_1}{F - f_1} = + \ldots\ldots$ সেমি

সতর্কতা (Precautions) :

(i) পরীক্ষায় 7·7-এ বর্ণিত সকল সতর্ককতা অবলম্বন করিতে হইবে।

(ii) উত্তল লেন্সের ক্ষমতা (Power) অবশ্যই অবতল লেন্সের ক্ষমতা হইতে বেশী হইবে নতুবা উহাদের দ্বারা গঠিত সংযুক্ত লেন্স অভিসারী লেন্স হিসাবে কাজ করিবে না। অর্থাৎ $f_1 < f_2$ হইতে হইবে।

(iii) সূচকত্রুটি একই বেঞ্চের জন্য একবার নির্ণয় করিলেই হইবে (উত্তল লেন্স ও সংযুক্ত লেন্সের জন্য)।

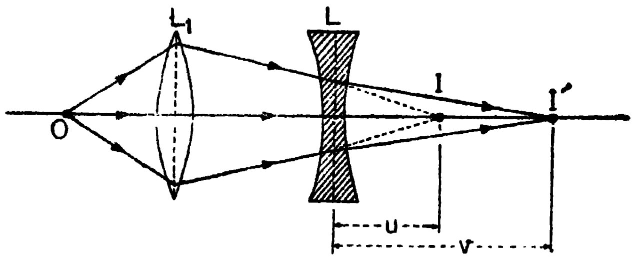
প্রশ্নোত্তর

[পরবর্তী পরীক্ষার (7·9)-এর শেষে একত্র সংযোজিত হইয়াছে]

7·9. একটি সহায়ক উত্তল লেন্সের সাহায্যে অপটিক্যাল বেঞ্চের দ্বারা একটি অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a concave lens by an optical bench, using an auxiliary convex lens)

মূলনীতি (Theory) :

একটি সদ্‌বস্তুর (O) জন্য সদ্‌বিম্ব (I) যদি একটি উত্তল লেন্স (L_1) কর্তৃক গঠিত হয় এবং তখন যদি একটি অবতল লেন্সকে (L) ঐ উত্তল লেন্স (L_1) এবং সদ্‌বিম্ব (I)-এর মধ্যে এমন স্থানে বসানো হয় (চিত্র 7.14) যাহাতে, ঐ I বিন্দু অবতল



চিত্র 7.14 : অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়

লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের মধ্যে পড়ে, তাহা হইলে ঐ সদ্‌বিম্ব (I) অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে অসদ্‌বস্তু হিসাবে কাজ করিবে এবং উহার সদ্‌বিম্ব (I') কিছু দূরে উৎপন্ন হইবে। এক্ষেত্রে, অবতল লেন্সের জন্য বস্তুদূরত্ব (u)$=LI$ কিন্তু যেহেতু এই বস্তুদূরত্ব অসদ্, সেজন্য চিহ্নসমেত এক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব ($-u$) এবং বিম্বের দূরত্ব $LI'=-v$

সুতরাং লেন্সের সূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$-এ চিহ্নসমেত মান বসাইলে আমরা পাই,

$$-\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{f}=\frac{1}{u}-\frac{1}{v}; \quad \text{বা, } f=\frac{uv}{v-u} \qquad \cdots \qquad (7.9a)$$

সুতরাং, LI ও LI' দূরত্ব মাপিতে পারিলে, অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

উত্তল সহায়ক লেন্স ; অবতল লেন্স ; অপটিক্যাল বেঞ্চ ; স্ট্যাণ্ডসহ পিন ; সূচকদণ্ড ইত্যাদি ;

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) অপ্‌টিক্যাল বেঞ্চে যথানির্দিষ্ট আলোক উৎস ও পর্দার স্ট্যাণ্ড স্থাপন করা হইল এবং মধ্যবর্তী একটি স্ট্যাণ্ডে উত্তল সহায়ক লেন্সকে আটকানো হইল।

(ii) আলোক উৎসকে একটি নির্দিষ্ট স্থানে রাখিয়া, উত্তল লেন্সের একটি নির্দিষ্ট অবস্থানের জন্য, পর্দায় উৎসের সুস্পষ্ট সদ্‌বিম্ব গঠন করা হইল।

(iii) এই অবস্থায় উত্তল লেন্সের অবস্থান ও পর্দার অবস্থান I) বেঞ্চস্কেল হইতে নির্ণয় করা হইল। পর্দার স্ট্যাণ্ডকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া তিনবার স্পষ্ট প্রতিবিম্ব লওয়া হইল এবং উহাদের গড় পাঠ লওয়া হইল।

(iv) এবার আর একটি উল্লম্ব স্ট্যাণ্ডে অবতল লেন্সটিকে আটকাইয়া, উহাকে উত্তল লেন্স এবং পর্দার স্ট্যাণ্ডের (I -এর মধ্যে বসানো হইল। সাধারণতঃ, অবতল লেন্সটিকে, স্ট্যাণ্ডের কাছাকাছি বসানো প্রয়োজন। অবতল লেন্সের অবস্থানের পাঠ স্কেল হইতে লওয়া হইল।

(v) পর্দার স্ট্যাণ্ডটিকে পিছাইয়া লওয়া হইল যতক্ষণ না আবার উৎসের পরিষ্কার সদ্‌বিম্ব (I') পর্দার উপর গঠিত হয়। স্ট্যাণ্ডটিকে অন্ততঃ তিনবার অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া, পরিষ্কার সদ্‌বিম্ব লওয়া হইল এবং উহাদের গড় পাঠ বেঞ্চস্কেল হইতে লওয়া হইল।

(vi) সুতরাং অবতল লেন্সের অবস্থান হইতে প্রথমবারের সদ্‌বিম্বের (I) দূরত্ব (LI) হইবে অবতল লেন্সের জন্য বস্তুর দূরত্ব ($-u$) এবং অবতল লেন্সের অবস্থান হইতে পরের বারে গঠিত সদ্‌বিম্বের (I' দূরত্ব হইবে অবতল লেন্সের জন্য বিম্বদূরত্ব v)।

(vii) সুতরাং, LI ও LI'-এর দূরত্ব বেঞ্চস্কেল হইতে পাইলে, সমীকরণ (7.9 a)-এর সাহায্যে অবতল লেন্সের ফোকাস্‌-দূরত্ব পাওয়া যাইবে।

(viii) উত্তল লেন্সের অবস্থান (L) বিভিন্ন স্থানে সরাইয়া (অন্ততঃ 3/4 বার) প্রতিবারের জন্য I-এর অবস্থান নির্ণয় করিয়া, অবতল লেন্সের ফোকাস্‌-দূরত্ব নির্ণয় করিতে হইবে এবং ঐ মানগুলির গড় মান নির্ণয় করিলে,গড় ফোকাস্‌-দূরত্ব পাওয়া যাইবে।

(ix) সূচকত্রুটি এক্ষেত্রে নির্ণয় করিতে হইবে, অবতল লেন্সের স্ট্যাণ্ড ও পর্দার স্ট্যাণ্ডের মধ্যে। পরীক্ষায় (7·7)-এ বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী ঐ সূচকত্রুটি নির্ণয় করিয়া, লেন্সের জন্য বস্তুদূরত্ব ($-u$) এবং বিম্বদূরত্ব ($-v$)-এর মান সংশোধন করিয়া লইতে হইবে।

ফল (Results :

অবতল লেন্সের জন্য বস্তুদূরত্ব ও বিম্বদূরত্ব নির্ণয়

সারণী—1

আলোক স্ট্যাণ্ডের অবস্থান = ·· সেমি

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	উত্তল লেন্সের অবস্থান (সেমি) (L_1)	উত্তল লেন্সের প্রতিবিম্বের জন্য পর্দার অবস্থান (সেমি)	গড় অবস্থান (I) (সেমি)	অবতল লেন্সের অবস্থান (L) (সেমি)	অবতল লেন্সের প্রতিবিম্বের জন্য পর্দার অবস্থান (I') (সেমি)	গড় অবস্থান (I') (সেমি)	অবতল লেন্সের আপাত বস্তু দূরত্ব (u) (সেমি)	অবতল লেন্সের আপাত প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) (সেমি)
1	—	— — —	—	—	— — —	—	—	—
2	—	— — —	—	—	— — —	—	—	—
3	—	— — —	—	—	— — —	—	—	—
4	—	— — —	—	—	— — —	—	—	—

অবতল লেন্স স্ট্যাণ্ড ও পর্দা স্ট্যাণ্ডের মধ্যে সূচক দূরত্ব নির্ণয়

সারণী—2

[7·7 পরীক্ষার সারণী 1-এর অনুরূপ হইবে]

অবতল লেন্সের প্রকৃত বস্তুদূরত্ব ও বিম্বদূরত্ব নির্ণয়

সারণী—3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপাত বস্তু-দূরত্ব (A) (সেমি)	আপাত বিম্ব-দূরত্ব (B) (সেমি)	সূচকত্রুটি (সারণী 2 হইতে উভয়ের ক্ষেত্রে) (সেমি)	সংশোধিত বস্তু-দূরত্ব (u) (সেমি)	সংশোধিত বিম্ব-দূরত্ব (v) (সেমি)	অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব (f) (সেমি)	গড় ফোকাস্-দূরত্ব (f) (সেমি)
1	—	—		—	—	—	
2	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—		—	—	—	
4	—	—		—	—	—	

হিসাব (Calculations) :

সারণী-3 হইতে সংশোধিত বস্তুদূরত্ব (u) এবং বিম্বদূরত্ব (v)-এর মান সমীকরণ (7.9 a)-এ বসাইলে পাওয়া যায়,

$$\text{ফোকাস্-দূরত্ব } f = \frac{uv}{v-u} = \cdots\cdots \text{ সেমি}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) অবতল লেন্স ও উত্তল লেন্সের মধ্যে ফোকাস্-দূরত্বের মানের ব্যবধান যত কম হইবে, পরিমেয় রাশির পরিমাপে ভুল তত কম হইবে।

(ii) অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব যথেষ্ট সতর্কতার সহিত স্পষ্টভাবে গঠন করিতে হইবে।

(iii) এই পদ্ধতিতে উত্তল ও অবতল লেন্সের ক্ষমতার মান যাহাই হউক না কেন, অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

প্রশ্নোত্তর

(পরীক্ষা 7·8 ও 7·9)

প্রঃ অবতল লেন্স কি ধরনের প্রতিবিম্ব উৎপন্ন করে ?

উঃ ইহা অসদ্‌বিম্ব উৎপন্ন করে।

প্রঃ পরীক্ষায় উত্তল লেন্সের প্রয়োজন কি ?

উঃ যেহেতু অবতল লেন্স সদ্‌বিম্ব গঠন করে না, সেজন্য প্রথম পরীক্ষায় (7·8) একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে সংযুক্ত লেন্স গঠন করিয়া অভিসারী লেন্স তৈয়ারী করিয়া সদ্‌বিম্ব উৎপন্ন করা হয় এবং দ্বিতীয় পরীক্ষায় (7·9) একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের মধ্যে অসদ্‌বস্তু উৎপন্ন করিয়া, অবতল লেন্সের সাহায্যে শেষে একটি সদ্‌বিম্ব গঠন করা হয়।

প্রঃ যদি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব (পরীক্ষা 7·9) অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্বের বাহিরে গঠিত হয়, তাহা হইলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে, অবতল লেন্সের দ্বারা চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অসদ্ হইবে এবং তাহা অবতল লেন্সের নিকটেই গঠিত হইবে এবং তাহা পর্দায় ধরা যাইবে না।

প্রঃ এই দুইটি পরীক্ষার মধ্যে অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয়ের কাজে, কোন পদ্ধতিটি সুবিধাজনক ?

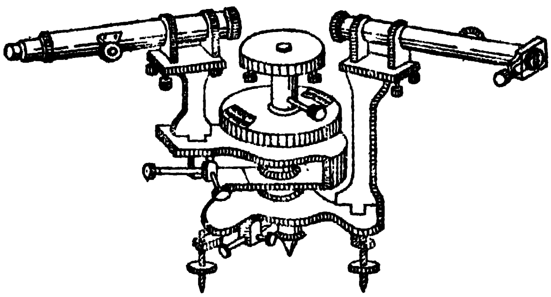
উঃ দ্বিতীয় পদ্ধতিটি (পরীক্ষা 7·9) অবলম্বন করা বাঞ্ছনীয় কারণ প্রথম পদ্ধতিতে কাজ করিবার সর্ত এই যে, উত্তল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব অবতল লেন্সের ফোকাস্-দূরত্ব অপেক্ষা কম হইতে হইবে। কিন্তু দ্বিতীয় পদ্ধতিতে যখন উত্তল লেন্সটি অবতল লেন্সের জন্য অসদ্‌বস্তু গঠন করে, তখন ঐ উত্তল লেন্সটির ফোকাস্-দূরত্ব যে-কোন মানের হইতে পারে।

প্রঃ উত্তল লেন্স ও অবতল লেন্সের মধ্যে পার্থক্য কি এবং উহাদের ফোকাস্-দূরত্ব বলিতে কি বুঝ ?

উঃ [যে-কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

7·10 স্পেকট্রোমিটারের গঠন ও উহাকে ব্যবহারের উপযোগিকরণ (Construction of a Spectrometer and its Adjustments)

স্পেক্‌ট্রোমিটার একটি আলোকযন্ত্র যাহার সাহায্যে সাধারণতঃ বর্ণালী পর্যবেক্ষণ ও বস্তুর প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা হয়। পরীক্ষাগারে সাধারণতঃ যে ধরনের স্পেক্‌ট্রোমিটার ব্যবহার করা হয়, তাহার বর্ণনা ও ব্যবহারের উপযোগিকরণ ব্যবস্থা দেওয়া হইল (চিত্র 7.1)



চিত্র 7.15 স্পেক্‌ট্রোমিটার

স্পেক্‌ট্রোমিটারের সাধারণতঃ এই অংশগুলি থাকে ঃ

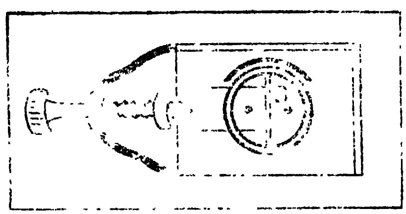
(ক) কলিমেটর (Collimator)

(খ) প্রিজম্‌ টেবিল (Prism Table)

(গ) টেলিস্কোপ (Telescope)

কলিমেটর (Collimator) ঃ

কলিমেটরের মূল উদ্দেশ্য একটি সমান্তরাল কিরণপুঞ্জ (beam of light) তৈয়ারী করা। ইহাতে একটি ফাঁপা নল থাকে যাহার একপ্রান্তে একটি রেখাছিদ্র (Slit) *S* থাকে (চিত্র 7 16) এবং অপরপ্রান্তে একটি উত্তল লেন্স থাকে। এই রেখাছিদ্রটি একটি ছোট নলের মধ্যে লাগাইয়া, নলটিকে কলিমেটরের নলের মধ্যে ঢুকানো থাকে। একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে রেখাছিদ্রসংশ্লিষ্ট নলটিকে কলিমেটরের নলের ভিতর দিকে বা বাহিরের দিকে সরানো যায়। আর একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে রেখাছিদ্রের প্রস্থ (width) কম-বেশী করা যায়। কলিমেটরের নলটি অনুভূমিক রাখা হয় এবং ইহা করিবার জন্য উহার তলদেশের নিকট ছোট স্ক্রু থাকে। কলিমেটরের রেখাছিদ্রকে আলোকউৎসের দিকে রাখা হয় এবং রেখাছিদ্রের প্রস্থ কম-বেশী করিয়া কলিমেটরের ভিতর প্রবেশকারী আলোকের পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করা হয়।

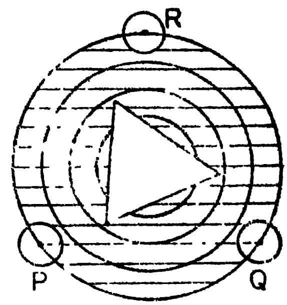


চিত্র 7.16 ঃ রেখাছিদ্র (slit)

প্রিজম্‌ টেবিল (Prism Table)

ইহা একটি অল্প ব্যাসার্ধের ছোট গোল টেবিল যাহার উপর প্রিজম্‌ রাখা হয়। এই টেবিলটি একটি উল্লম্ব দণ্ডের মাথায় লাগানো থাকে এবং প্রয়োজনবোধে এই টেবিলটিকে ঐ দণ্ড সহ উঠানো-নামানো যায়। টেবিলটি একটি উল্লম্ব অক্ষ বরাবর ঘুরানো যায়। এই টেবিলের নীচে তিনটি লেভেলিং স্ক্রু (*P, Q, R*) থাকে, যাহাদের সাহায্যে

টেবিলটিকে অনুভূমিক করা যায়। এই টেবিলের উপরিতলে কয়েকটি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত আঁকা আছে যাহাদের কেন্দ্র, টেবিলের কেন্দ্রের সহিত মিলিয়া থাকে (চিত্র 7.17)। টেবিলের উপর কয়েকটি সমান্তরাল সরলরেখা আঁকা থাকে, যাহারা যে-কোন দুইটি স্ক্রু সংযোগকারী সরলরেখার সমান্তরাল। এইগুলির সাহায্যে প্রিজম্‌কে টেবিলের উপর যথাযথভাবে বসাইতে পারা যায়। টেবিলের উলম্ব অক্ষ, যন্ত্রের অক্ষের সহিত মিলিয়া থাকে এবং টেবিলের ঘূর্ণনের পরিমাণ উহার সহিত যুক্ত দুইটি ভার্ণিয়ার হইতে পাওয়া যায়। এই দুই ভার্ণিয়ার একটি মূল বৃত্তাকার স্কেলের (ডিগ্রীতে রেখাঙ্কিত) সহিত স্পর্শ করিয়া থাকে। টেবিলের ঘূর্ণন একটি স্ক্রু-এর দ্বারা আটকাইয়া বন্ধ করা যায়। একটি স্পর্শক স্ক্রুও থাকে যাহার দ্বারা টেবিলকে খুব সামান্য পরিমাণে ঘূর্ণন দেওয়া যায়।



চিত্র 7.17 : প্রিজম্ টেবিল

টেলিস্কোপ (Telescope) :

ইহা একটি ছোট দূরবীক্ষণ যন্ত্র যাহার দুইপাশে যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র লেন্স থাকে। অভিনেত্র লেন্স র‍্যাম্‌সডেন্ জাতীয় এবং ইহার সহিত ক্রস্‌ওয়্যার থাকে। দুইটি সংলগ্ন স্ক্রু-এর সাহায্যে ইহাকে অনুভূমিক করা যায় এবং মূল যন্ত্রের উলম্ব অক্ষের সহিত ইহাকে সমকোণে রাখা হয়। টেলিস্কোপকে যন্ত্রের উলম্ব অক্ষকে অক্ষ ধরিয়া ঘুরানো যায় এবং ঘূর্ণনের পরিমাণ একটি বৃত্তাকার স্কেল ও ভার্ণিয়ারের সাহায্যে জানা যায়। একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে টেলিস্কোপটিকে যে কোন অবস্থায় নির্দিষ্ট করিয়া রাখা যায় এবং একটি স্পর্শক স্ক্রু-এর সাহায্যে ইহাকে সামান্য ঘূর্ণন দেওয়া যায়। কাজ করিবার সময়ে ক্রস্‌ওয়্যারটি অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস্-তলে থাকে এবং অভিলক্ষ্য লেন্স ও ক্রস্‌ওয়্যারের মধ্যেকার দূরত্ব একটি র‍্যাক্-পিনিয়ন ব্যবস্থার সাহায্যে পরিবর্তন করা যায়। ফোকাসিত অবস্থায় ক্রস্‌ওয়্যারে প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হয়। টেলিস্কোপের অনুভূমিক অক্ষ এমনভাবে থাকে যাহাতে ইহা প্রিজম্ টেবিলের উলম্ব অক্ষর মধ্য দিয়া অতিক্রম করে।

সমগ্র যন্ত্রটি তিনটি লেভেলিং স্ক্রু-এর উপর দাঁড় করানো থাকে। এইগুলির সাহায্যে যন্ত্রটিকে লেভেল করা যায় এবং যন্ত্রের মূল অক্ষকে উলম্ব করা যায়। মনে রাখিতে হইবে যে, সকল স্পর্শক স্ক্রু-এর ক্ষেত্রে, মূল স্ক্রু-কে শক্তভাবে আটকাইলে, স্পর্শক স্ক্রু কাজ করিবে না।

স্পেকট্রোমিটার ব্যবহারের উপযোগিকরণ (Adjustments of a Spectrometer) : পরীক্ষাগারে স্পেকট্রোমিটার ব্যবহার করিবার পূর্বে উহার কয়েকটি ব্যবস্থা করা প্রয়োজন যাহাতে উহা ব্যবহারের উপযোগী হয়। এই ব্যবস্থাগুলি সম্পন্ন

না হইলে, স্পেকট্রোমিটার পাঠে অসুবিধা ও ত্রুটি হইতে পারে। এই ব্যবস্থাগুলি দেওয়া হইল এবং প্রদত্ত ক্রমানুযায়ী সেগুলি সম্পন্ন করা উচিত।

(ক) সমগ্র যন্ত্রটির লেভেলিংকরণ (levelling)—যথাক্রমে কলিমেটর : প্রিজম্ টেবিল ও টেলিস্কোপ-এর জন্য

(খ) আলোক উৎস ও রেখাছিদ্র (Slit)-এর সংরেখন (alignment)

(গ) ক্রস্‌ওয়্যারের ফোকাসিকরণ

(ঘ) রেখাছিদ্র-এর সমন্বয়ন (adjustment)

(ঙ) সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিকরণ।

(ক) লেভেলিংকরণ

স্পেকট্রোমিটার যন্ত্রে কাজ করিতে হইলে কতকগুলি প্রাথমিক লেভেলিংকরণের প্রয়োজন। প্রথমতঃ, টেলিস্কোপ যে অক্ষ বরাবর ঘুরিতে পারে, সেই অক্ষ উল্লম্ব থাকিতে হইবে। দ্বিতীয়তঃ, টেলিস্কোপ ও কলিমেটরের অক্ষরেখা অনুভূমিক তলে থাকিতে হইবে। তৃতীয়তঃ, প্রিজম্ টেবিলের উপরিতল অনুভূমিক তলে থাকিবে। লেভেলিংকরণের অর্থ, এই ব্যবস্থাগুলি যথাযথভাবে সম্পন্ন করা।

টেলিস্কোপ লেভেলিংকরণ : একটি স্পিরিট লেভেলকে টেলিস্কোপ-এর অক্ষরেখার উপর বসাইয়া উহার মধ্যকার বায়ু-বুদবুদটি ঠিক মধ্যস্থলে আছে কিনা দেখা হইল। যদি না থাকে, তাহা হইলে, এই ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে। স্পেকট্রোমিটার যন্ত্রের নীচে মোট তিনটি লেভেলিং স্ক্রু থাকে। টেলিস্কোপটিকে ঘুরাইয়া (স্পিরিট লেভেলসহ) ঐ তিনটি স্ক্রু-এর যে দুইটি কলিমেটারের নীচে থাকে না, সেই দুইটির সংযোজক সরলরেখার (কাল্পনিক) সমান্তরালে আনা হইল। এবার বায়ু-বুদবুদটিকে লেভেলের মধ্যবিন্দু আনিতে মোট যতটা উহাকে সরাইতে হইবে, তার অর্ধেক পরিমাণ সরানো হইল। তলাকার ঐ দুইটি স্ক্রু-দুইটিকে সমপরিমাণে বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া, বাকী অর্ধেক পরিমাণ, বুদ্‌বুদকে সরাইতে হইবে, টেলিস্কোপের গাত্রে ঠিক নীচে যে স্ক্রু দুইটি থাকে তাহাদের ঘুরাইয়া। এরপর টেলিস্কোপটিকে ১৪০° ঘুরাইয়া, অপর অন্যদিকে লওয়া হইল এবং টেলিস্কোপটি পূর্বের অবস্থার সমান্তরালেই রইল। দেখা যাইবে যে স্পিরিট লেভেলের বায়ু-বুদ্‌বুদটি হয়ত সরিয়া গিয়া থাকিবে। উহাকে আবার ঠিক কেন্দ্রস্থলে আনা হইল পূর্বের মত ব্যবস্থায়, অর্থাৎ অর্ধেক পরিমাণ ভূমিসংলগ্ন স্ক্রু দুইটিকে ঘুরাইয়া এবং অপর অর্ধেক পরিমাণ টেলিস্কোপ সংলগ্ন স্ক্রু-টিকে ঘুরাইয়া। আবার, টেলিস্কোপটিকে 180° ঘুরাইয়া প্রথমবারের অবস্থানে লওয়া হইল এবং বুদ্‌বুদটি স্থানচ্যুত হইয়া থাকিলে, একই ব্যবস্থায় উহাকে কেন্দ্রস্থলে আনা হইল। এইভাবে, প্রয়োজনে বেশ কয়েকবার টেলিস্কোপটিকে ঘুরাইয়া ঐ পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া দেখা হইল যে, টেলিস্কোপটির ঐ দুই অবস্থানেই যেন বুদ্‌বুদটি ঠিক কেন্দ্রস্থলেই থাকে। এই অবস্থা ঘটিলে বুঝিতে হইবে যে, স্পেকট্রোমিটারের ভূমিসংলগ্ন স্ক্রু-দুইটির সংযোজক সরলরেখার সমকোণে উল্লম্বতলে টেলিস্কোপটি আছে।

এখন হয়ত ঐ দুই অবস্থানের মধ্যবর্তী কোন অবস্থানে টেলিস্কোপটি রাখিলে বুদ্‌বুদ্‌টি কেন্দ্রস্থলে না থাকিতেও পারে। তখন, টেলিস্কোপটিকে ঠিক কলিমেটরের সহিত একই সরলরেখা বরাবর রাখা হইল। এই অবস্থায়, কলিমেটরের নীচে যন্ত্রের ভূমিসংলগ্ন স্ক্রুটিকে ঘুরাইয়া, বুদ্‌বুদ্‌টিকে কেন্দ্রস্থলে আনা হইল। ইহাতে টেলিস্কোপের ঘূর্ণনঅক্ষ উল্লম্ব হইল এবং টেলিস্কোপের অক্ষ অনুভূমিক হইল। এই ব্যবস্থা সম্পন্ন হইবার পর পুনরায় একবার প্রথম ব্যবস্থায় টেলিস্কোপটি লইয়া, বুদ্‌বুদ্‌টি ঠিক কেন্দ্রস্থলে আছে কিনা, তাহা একবার দেখিয়া লওয়া প্রয়োজন।

এই ব্যবস্থার জন্য সংক্ষেপে নিম্নলিখিত সূত্রটি মনে রাখিতে পারিলে, কাজ করিতে বিশেষ সুবিধা হইবে।

(ক) সমান্তরাল অবস্থানের জন্য, অর্ধেক ভূমিসংলগ্ন স্ক্রু-দ্বয়ের দ্বারা এবং অর্ধেক টেলিস্কোপসংলগ্ন স্ক্রু-এর দ্বারা সমন্বয় সাধন।

(খ) লম্বভাবে অবস্থানের জন্য, কলিমেটরের নীচে ভূমিসংলগ্ন স্ক্রু-এর দ্বারা সমন্বয় সাধন।

কলিমেটর লেভেলিংকরণ ঃ

স্পিরিট লেভেলটিকে কলিমেটরের উপর স্থাপন করিয়া কলিমেটরের নীচে দেওয়া (কলিমেটর সংলগ্ন) দুইটি স্ক্রু-এর সাহায্যে, স্পিরিট লেভেলের বায়ু-বুদ্‌বুদ্‌কে কেন্দ্রস্থলে আনা হইল। তাহা হইলে, কলিমেটরের অক্ষ অনুভূমিক হইবে।

প্রিজম্ টেবিল লেভেলিংকরণ ঃ

প্রিজম্ টেবিল সংলগ্ন তিনটি স্ক্রু থাকে উহার নীচে। টেবিলের উপরিতলে যে সমান্তরাল সরলরেখাগুলি টানা থাকে (চিত্র 7.17) সেই সমান্তরাল রেখা বরাবর স্পিরিট লেভেলটিকে রাখা হইল। উহার অভ্যন্তরস্থ বায়ু-বুদ্‌বুদ্‌টিকে এই সমান্তরাল রেখার প্রান্তস্থিত দুইটি স্ক্রু-এর সাহায্যে, কেন্দ্রস্থলে আনা হইল। ইহার পর স্পিরিট লেভেলটিকে ঐ সরলরেখাগুলির সমকোণে রাখিয়া টেবিলের তৃতীয় স্ক্রুটির সাহায্যে বুদ্‌বুদ্‌কে কেন্দ্রস্থলে আনা হইল। এই অবস্থার পর সমগ্র প্রিজম্ টেবিলটি অনুভূমিক তলে থাকিবে।

(খ) আলোকউৎস ও রেখাছিদ্রের সংরেখন ঃ

স্পেক্‌ট্রোমিটারের কাজে ভাল ফল পাইতে হইলে, আলোকউৎস ও রেখাছিদ্র সঠিকভাবে সংরেখিত (aligned) হওয়া প্রয়োজন। যে আলোকউৎসই ব্যবহৃত হউক না কেন (সোডিয়াম বাষ্প বাতি বা বুনসেন বার্ণার দ্বারা সৃষ্ট সোডিয়াম শিখা) উহা ঠিকভাবে রেখাছিদ্রের (slit) সম্মুখে নির্দিষ্ট স্থানে থাকা চাই যাহাতে কলিমেটর ও টেলিস্কোপের মধ্য দিয়া রেখাছিদ্রের বিম্ব অত্যন্ত সুস্পষ্ট ও উজ্জ্বলভাবে দেখিতে পাওয়া যায়। এজন্য আলোকউৎসকে রেখাছিদ্র হইতে 8 বা 10 ইঞ্চি দূরে উহার সর্বাপেক্ষা উজ্জ্বল অংশটিকে ঠিক রেখাছিদ্রের সহিত একই সরলরেখা বরাবর রাখা প্রয়োজন। আলোকউৎসকে একবার তাহার নির্দিষ্ট স্থানে স্থাপনা করিবার পর আর উহাকে কোনমতেই স্থানচ্যুত

করা উচিত নয়। এর পর রেখাছিদ্রটিকে ঠিক প্রকৃত পরিমাণমত খুলিয়া (সংশ্লিষ্ট স্ক্রু-এর সাহায্যে) ছিদ্রটিকে ঠিক উল্লম্ব রাখা প্রয়োজন। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, রেখাছিদ্রের সমস্ত অংশই যেন ঠিকমত উৎস হইতে আসা আলোর দ্বারা আলোকিত হয়। কলিমেটরের বিপরীত প্রান্তে চোখ রাখিয়া রেখাছিদ্রটিকে দেখিলেই বুঝা যাইবে যে, উহা ঠিকমত আলোকিত হইয়াছে কিনা। সেইমত প্রয়োজন অনুসারে রেখাছিদ্রটিকে সরু বা মোটা অথবা উল্লম্ব করিয়া লইতে হইবে। এই সংরেখন কার্য স্পেক্‌ট্রোমিটার পরীক্ষায় একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ। প্রয়োজনে, রেখাছিদ্রটিকে কলিমেটর সংলগ্ন র‍্যাক্‌-পিনিয়ন স্ক্রু-এর সাহায্যে ফোকাস্ করিতে হইতে পারে।

(গ) **ক্রস্‌ওয়্যার ফোকাসিকরণ ঃ**

টেলিস্কোপটিকে কোন একটি আলোকিত বস্তুর দিকে মুখ করিয়া রাখিয়া উহার অভিনেত্র লেন্সের মধ্য দিয়া দেখিলে, ঐ অভিনেত্র লেন্স সংলগ্ন ক্রস্‌ওয়্যারটিকে দেখিতে পাওয়া যাইবে। হয়ত, ঐ অবস্থায় ক্রস্‌ওয়্যারটি সুস্পষ্টভাবে ফোকাসিং না হইয়া থাকিতে পারে। সেক্ষেত্রে, অভিনেত্র লেন্সটিকে অগ্র বা পশ্চাতে সরাইয়া, ক্রস্‌ওয়্যারটিকে অত্যন্ত সুস্পষ্টভাবে ফোকাসিং করিতে হইবে। চোখের উপর কোনপ্রকার পীড়ন ব্যতিরেকেই যেন ক্রস্‌ওয়্যারটিকে অভিনেত্র লেন্সের ভিতর দিয়া পরিষ্কার ভাবে দেখা যায়। ক্রস্‌-ওয়্যারটিকে এমনভাবে রাখা বাঞ্ছনীয় যাহাতে উহার একটি বাহু অনুভূমিক এবং একটি বাহু উল্লম্বভাবে থাকে।

(ঘ) **রেখাছিদ্রের সমন্বয়ন ঃ**

রেখাছিদ্র কিরূপে রাখিতে হইবে তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। উৎসের সহিত রেখাছিদ্রকে সংরেখন করিয়া, রেখাছিদ্রকে কলিমেটরের স্ক্রু-এর দ্বারা পরিষ্কারভাবে ফোকাসিং করিয়া লইতে হইবে। এর পর টেলিস্কোপকে কলিমেটরের সহিত একই সরলরেখায় রাখিয়া টেলিস্কোপের ভিতর দিয়া রেখাছিদ্রটিকে দেখিতে হইবে এবং রেখাছিদ্রটি তখন যেন পরিষ্কারভাবে দেখা যায়। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, রেখাছিদ্রের ফাঁক যেন খুব বড় বা বেশী না হয়। উহার প্রান্তিক অংশগুলি (edges) যেন টেলিস্কোপের ভিতর দিয়া অত্যন্ত স্পষ্টভাবে দেখা যায়।

(ঙ) **সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিকরণ ঃ**

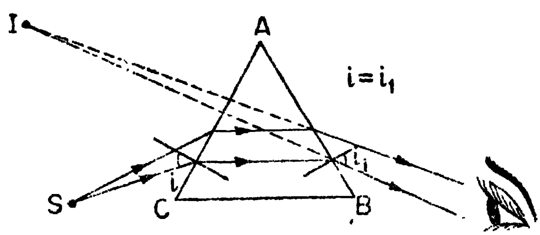
(i) **প্রত্যক্ষ পদ্ধতি** (Direct method)

এই পদ্ধতিতে টেলিস্কোপকে এবং কলিমেটরকে সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিং করিতে হইলে প্রত্যক্ষভাবে টেলিস্কোপকে দূরবর্তী কোন বস্তুর জন্য ফোকাস্ করা হয় এবং উহার প্রতিবিম্ব ঠিক ক্রস্‌ওয়্যারের সহিত লম্বনত্রুটিবিহীন অবস্থায় মিলানো হয়। ইহাতে টেলিস্কোপটি সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিত হইল। এর পর কলিমেটর এবং টেলিস্কোপকে একই সরলরেখা বরাবর রাখিয়া কলিমেটরের সংলগ্ন রেখাছিদ্রকে সূক্ষ্মভাবে ফোকাসিং করিতে হইবে। এই ফোকাসিং কলিমেটরের গাত্রসংলগ্ন স্ক্রু-এর সাহায্যে করিতে হইবে। তাহা হইলে, সমগ্র যন্ত্রটি সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিত হইবে।

(ii) স্যুস্টার পদ্ধতিতে ফোকাসিকরণ ঃ (**Focussing for parallel rays by Schuster's method**).

যদি টেলিস্কোপ ও কলিমেটর সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিকরণের কাজে দূরবর্তী কোন বস্তু না পাওয়া যায় (যখন অন্ধকার ঘরে কাজ করিতে হয়) তখন যে পদ্ধতিতে এই ফোকাসিকরণ করা হয়, তাহাকে স্যুস্টার পদ্ধতি বলে।

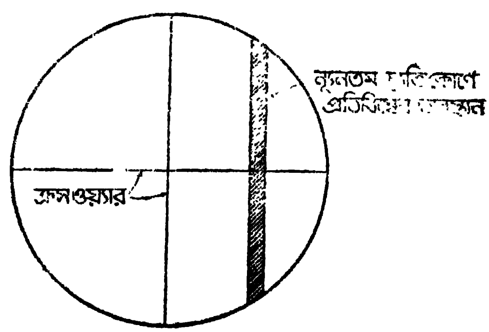
প্রিজম্‌কে টেবিলের উপর এমনভাবে বসানো হইল যাহাতে উহার নীচতলের মধ্যবিন্দু টেবিলের ঠিক কেন্দ্রস্থলে থাকে। উহার প্রতিসরণপৃষ্ঠ $A\ C$-কে কলিমেটরের দিকে রাখিয়া অপর পৃষ্ঠ $A\ B$-এর মধ্য দিয়া কলিমেটরের রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব দেখা হইল। ঐ প্রতিবিম্বের উপর চোখ রাখিয়া (চিত্র 7.18) টেবিলসমেত প্রিজম্‌কে ধীরে ধীরে উপযুক্ত দিকে ঘুরাইয়া প্রতিবিম্বকে যথাসম্ভব কলিমেটরের দিকে আনা হইল (I)।



চিত্র 7.18 : ন্যূনতম চ্যুতিকোণ অবস্থান

এই অবস্থা হইতে প্রিজম্‌কে যেদিকেই ঘুরানো হউক না কেন, প্রতিবিম্ব (I) কলিমেটর হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। প্রতিবিম্ব যখন I অবস্থানে থাকে (চিত্র 7.18) তখন, প্রিজমের অবস্থান হইবে উহার ন্যূনতম চ্যুতিকোণের অবস্থান (minimum deviation)। এই অবস্থায় প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মির আপতন কোণ ($\angle i$) এবং প্রিজম্ হইতে রশ্মির নির্গমন কোণ ($\angle i_1$) পরস্পর সমান হইবে।

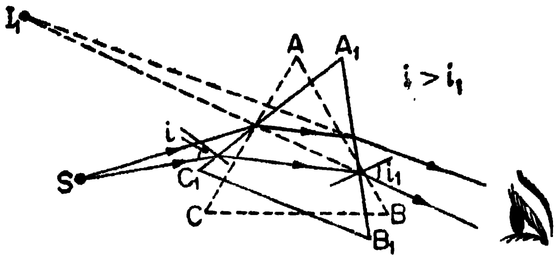
ইহার পর প্রিজম্‌কে টেবিলসহ সামান্য ঘুরাইয়া উহাকে প্রিজমের ভূমির (BC) দিকে আনা হইল এবং রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে টেলিস্কোপের দৃষ্টিক্ষেত্রের (field of view) একপ্রান্তে রাখা হইল (চিত্র 7.19)। এই অবস্থায় টেলিস্কোপকে স্থির রাখিয়া প্রিজম-টেবিলকে দুইদিকে ঘুরাইলে, দুইবার টেলিস্কোপের ভিতর রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। একবার প্রতিবিম্বটি বেশ মোটা দেখা যাইবে এবং একবার বেশ সরু দেখা যাইবে। এই দুইপ্রকার ঘূর্ণনের



চিত্র 7.19 : টেলিস্কোপে দৃষ্টিক্ষেত্র

(প্রিজম্ টেবিলের) পর প্রিজমের অবস্থানকে যথাক্রমে 'তির্যক অবস্থান' ও 'অভিলম্বীয় অবস্থান' বলে। উহাদের কথা আলোচিত হইল।

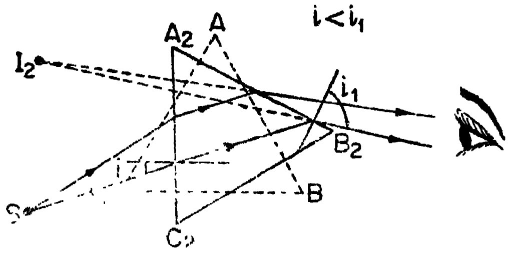
প্রিজম্‌কে ঘুরাইয়া $A_1B_1C_1$ অবস্থায় আনিলে উহার উপর আপতিত রশ্মির আপতন কোণ ($\angle i$) নির্গমন কোণ ($\angle i_1$) অপেক্ষা বেশী হইবে। প্রিজমের এই অবস্থানকে উহার 'তির্যক অবস্থান' (slanting position) বলে। এই অবস্থায়



চিত্র 7.20 : প্রিজ্‌মের তির্যক অবস্থান

প্রিজম্ রেখাছিদ্রের যে প্রতিবিম্ব (I_1) গঠন করে, তাহার দূরত্ব, প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতিকোণের অবস্থানে গঠিত I প্রতিবিম্বের দূরত্ব অপেক্ষা বেশী হইবে (চিত্র 7.20)। এই অবস্থায় প্রতিবিম্ব (I_1) অস্পষ্ট দেখা যাইবে। টেলিস্কোপের সংলগ্ন স্ক্রু-এর সাহায্যে ঐ প্রতিবিম্বকে সুস্পষ্ট করা হইল। এই প্রতিবিম্ব সাধারণতঃ খুব সরু দেখা যায়।

এরপর প্রিজম্ টেবিলকে বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া পুনরায় রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে টেলিস্কোপের মধ্যে আনা হইল। এই অবস্থায় প্রতিবিম্ব (I_2) পূর্বাপেক্ষা অনেক মোটা দেখাইবে। প্রিজমের এই অবস্থানে ($A_2B_2C_2$) উহার উপর আপতিত রশ্মির



চিত্র 7.21 : প্রিজ্‌মের অভিলম্বীয় অবস্থান

আপতন কোণ ($\angle i$) নির্গমন কোণ ($\angle i_1$) অপেক্ষা কম হইবে। প্রিজমের এই অবস্থানকে 'অভিলম্বীয় অবস্থান' (normal position) বলে। এই অবস্থায় রেখাছিদ্রের যে প্রতিবিম্ব (I_2) হয়, তাহার দূরত্ব, প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতিকোণের অবস্থানে গঠিত I প্রতিবিম্বের দূরত্ব অপেক্ষা কম হইবে (চিত্র 7.21)। সেজন্য এই প্রতিবিম্বও টেলিস্কোপে অস্পষ্ট দেখা যাইবে। এই অবস্থায় কলিমেটর সংলগ্ন স্ক্রু-কে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া প্রতিবিম্বকে সুস্পষ্ট করিতে হইবে এবং তখন প্রতিবিম্ব (I_2)-এর দূরত্ব

বাড়াইয়া পূর্বের তির্যক অবস্থানের প্রতিবিম্বের (I_1) স্থানে আনা হইল। এখন প্রতিবিম্ব (I_2) বেশ মোটা দেখা যায়।

প্রিজম্‌কে যদি পুনরায় উহার তির্যক অবস্থানে লওয়া হয়, তাহা হইলে রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব, পূর্বের প্রতিবিম্ব (I_1) হইতে দূরে হইবে এবং উহাকে সুস্পষ্ট করিবার জন্য টেলিস্কোপের স্ক্রু নড়াইতে হইবে। এইভাবে পুনরায় প্রিজম্‌কে অভিলম্বীয় অবস্থানে লইয়া, কলিমেটরের স্ক্রু-এর সাহায্যে প্রতিবিম্বকে সুস্পষ্ট করিতে হইবে।

পর্যায়ক্রমে এইভাবে বেশ কয়েকবার প্রিজম্‌কে একবার তির্যক অবস্থানে এবং একবার অভিলম্বীয় অবস্থানে লইয়া, প্রতিবার যথাক্রমে টেলিস্কোপের এবং কলিমেটরের স্ক্রু-কে ঘুরাইয়া প্রতিবিম্বকে সুস্পষ্ট করিতে হইবে এবং বেশ কয়েকবার এই পদ্ধতি অবলম্বন করিলে পরিশেষে রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে (infinity) গঠিত হইবে এবং টেলিস্কোপও ঐ অসীম দূরত্বের প্রতিবিম্ব সুস্পষ্টভাবে দেখিবার জন্য ব্যবস্থাপিত হইবে।

এইভাবে, কলিমেটর ও টেলিস্কোপ সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাসিত হইবে। এই পদ্ধতিকে 'স্যুস্টার পদ্ধতি' (Schuster's method) বলে।

সমগ্র পদ্ধতির কার্যক্রমকে সংক্ষিপ্ত এক উপায়ে স্মরণ করিয়া রাখা যাইতে পারে।

রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব যখন		**ফোকাস করিতে হইবে**
মোটা (**Broad**)···	$(B \to C)$···	কলিমেটর (Collimator)
সরু (**Thin**)···	$(T \to T)$···	টেলিস্কোপ (Telescope)

প্রিজম্ ব্যবহারে সতর্কতা : স্পেক্‌ট্রোমিটারের কার্যে সাধারণতঃ সর্বদাই একটি কাচের প্রিজমের প্রয়োজন হয়। এই প্রিজম্‌টিকে যথাযথ সাবধানতাসহ ব্যবহার করা উচিত। প্রিজম্ গাত্র সর্বদা পরিষ্কার থাকা উচিত। ময়লা থাকিলে, উহার গাত্র পাতলা কাপড় অ্যালকোহলে ভিজাইয়া তাহার দ্বারা কোমলভাবে পরিষ্কার করা উচিত। কখনো শুক্‌না কাপড় বা রুমাল দ্বারা উহা পরিষ্কার করা উচিত নয়। প্রিজম্ হাতে করিয়া ধরিয়া ব্যবহার করিবার সময়ে, কখনোই উহার প্রতিসরণ গাত্র (refracting faces) স্পর্শ করা উচিত নয়। হাতের আঙুলের সাহায্যে উহার মাথা ও তলদেশ ধরিয়া উহাকে সাবধানে প্রিজম্ টেবিলের উপর বসানো-নামানো করিতে হইবে। নামাইবার সময়ে উহাকে সামান্য কাৎ করিয়া উপর নীচে ধরিয়া নামাইতে হইবে। মনে রাখিতে হইবে যে, প্রিজম্‌গাত্রে ময়লা থাকিলে টেলিস্কোপমাধ্যমে রেখাছিদ্র বা অন্য কোন উৎসের প্রতিবিম্ব খুবই অস্পষ্ট দেখা যায় এবং কাজে যথেষ্ট অসুবিধা হয়। সেজন্য প্রিজম্ ব্যবহারে যথেষ্ট সাবধানতা অবলম্বন করা উচিত।

7·11. স্পেক্‌ট্রোমিটারের সাহায্যে একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the Refractive Index of the material of a prism by Spectrometer)

মূলনীতি (Theory) :

যদি একটি প্রিজমের মধ্য দিয়া একটি একবর্ণী (monochromatic) রশ্মি

অতিক্রম করে এবং ঐ রশ্মির গতিপথের যদি ন্যূনতম চ্যুতিকোণ δ_m হয়, তাহা হইলে ঐ প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের (μ) মান হইবে

$$\mu = \frac{\sin \frac{A+\delta_m}{2}}{\sin A/2} \qquad \cdots (7\ 11a)$$

যখন A—প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ।

সুতরাং, প্রিজমের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিকোণ (δ_m)-এর মান এবং প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ (A)-এর মান পরিমাপ করিলে, প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

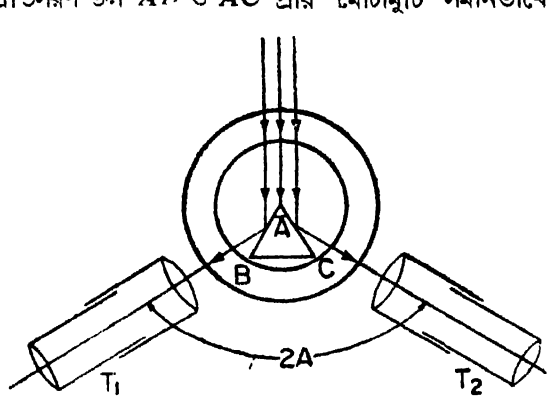
স্পেকট্রোমিটার : স্পিরিট লেভেল ; প্রিজ্‌ম ; আলোক উৎস ইত্যাদি।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে স্পেকট্রোমিটারকে লেভেলিং ও উহাকে সমান্তরাল রশ্মির জন্য প্রয়োজনীয় যথাযথ ফোকাসিং করিয়া লওয়া প্রয়োজন (পরীক্ষা 7 10-এ বর্ণিত সকল প্রকার ব্যবস্থা অনুযায়ী)।

(ii) স্পেকট্রোমিটার যথাযথভাবে ব্যবহারের জন্য উহার ব্যবস্থাদি সম্পন্ন হইলে, প্রথমে প্রদত্ত প্রিজমের প্রতিসরণ কোণের (A) মান নির্ণয় করিতে হইবে।

(iii) এই মান নির্ণয় করিবার জন্য, প্রিজমকে উহার টেবিলের উপর এমনভাবে বসাইতে হইবে যাহাতে, প্রিজমের শীর্ষবিন্দু কলিমেটরের দিকে মুখ করিয়া থাকে এবং যেন উহার দুই প্রতিসরণ তল AB ও AC প্রায় মোটামুটি সমানভাবে কলিমেটর হইতে



চিত্র 7.22 : প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ নির্ণয়

আগত সমান্তরাল রশ্মির দ্বারা আলোকিত হয় (চিত্র 7 22)। এই দুই পৃষ্ঠ হইতে (AB ও AC) প্রতিফলিত রশ্মির মধ্যেকার কোণ $2A$-এর সমান হইবে, যদি প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ-এর মান A হয়। কারণ প্রতিফলক তল যখন AC হইতে ঘুরিয়া AB অবস্থানে যাইবে, তখন AB ও AC হইতে প্রতিফলিত রশ্মির মধ্যেকার ঘূর্ণন কোণের

মান $2A$-এর সমান হইবে। সুতরাং, প্রিজমের এই দুই তল হইতে প্রতিফলিত রশ্মির মান যদি স্পেক্ট্রোমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়, তাহা হইলে, প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ (A)-এর মান পাওয়া যাইবে।

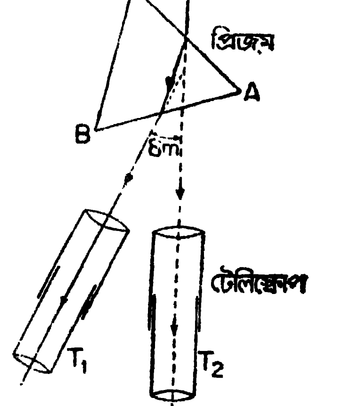
(iv) প্রিজম্‌কে ঠিকমত টেবিলের উপর বসাইয়া (চিত্র 7.22) রেখাছিদ্রকে সোডিয়াম আলোর দ্বারা (সোডিয়াম বাষ্প বাতি বা বার্ণারের সাহায্যে) আলোকিত করা হইল। স্পেক্ট্রোমিটার সংলগ্ন ভার্ণিয়ার স্কেলের ভার্ণিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করা হইল।

(v) টেলিস্কোপকে সরাইয়া, AB তল হইতে প্রতিফলিত রশ্মির দ্বারা রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে দেখিয়া, সেই স্থানে (T_1) আনা হইল এবং রেখাছিদ্রের একপ্রান্তকে ক্রস-ওয়্যারের সঙ্গে মিলাইয়া, টেলিস্কোপের অবস্থানের পাঠ লওয়া হইল। তিনবার পৃথকভাবে এই পাঠ লইয়া তাহার গড় পাঠ লওয়া হইল (M_1 ধরা যাউক)।

(vi) টেলিস্কোপকে ঘুরাইয়া অন্যদিকে (T_2) লইয়া, AC তল হইতে প্রতিফলিত অনুরূপ রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বের সেই প্রান্তকে ক্রসওয়্যারের সঙ্গে মিলাইয়া আবার একই ভাবে টেলিস্কোপের পাঠ (তিনবার) এবং তাদের গড় পাঠ (M_2) লওয়া হইল। সুতরাং প্রিজমের প্রতিসরণ কোণের মান হইবে

$$A = \frac{M_1 \sim M_2}{2} \qquad \cdots \quad (7.11b)$$

(vii) আলোকরশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিকোণ (δ_m) নির্ণয়ের জন্য প্রিজম্‌কে ঘুরাইয়া টেবিলের উপর এমনভাবে বসানো হইল যাহাতে, উহার একটি প্রতিসরণ তল AC যেন কলিমেটরের দিকে থাকে। এই অবস্থায় কলিমেটর হইতে আগত আলোকরশ্মি AC তলে প্রতিসরিত হইয়া AB তল হইতে নির্গমন করিবে (চিত্র 7.23)। প্রিজম্‌কে টেবিলসহ ঘুরাইলে এবং টেলিস্কোপের মধ্য দিয়া রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে দেখিলে দেখা যাইবে যে, ঐ প্রতিবিম্ব ক্রমশঃ একদিকে সরিতে সরিতে এক স্থান পর্যন্ত গিয়া, পুনরায় ফিরিতে থাকিবে, যদিও প্রিজম্‌কে যে-কোন দিকে ঘুরানো হউক না কেন, যে স্থান হইতে প্রতিবিম্ব ফিরিতে থাকে, সেই স্থানই হইল প্রতিসরিত রশ্মির ন্যূনতম চ্যুত অবস্থান। এই অবস্থানকে টেলিস্কোপের ক্রসওয়্যারের সহিত (T_1) রেখাছিদ্রের এক প্রান্ত (পূর্বেকার প্রান্ত) মিলাইয়া টেলিস্কোপের



চিত্র 7.23 : প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতিকোণ নির্ণয়

পাঠ (তিনবার) এবং উহাদের গড় পাঠ লওয়া হইল। ধরা যাক্, এই পাঠ-এর মান R_1।

(viii) এইবার প্রিজম্‌কে টেবিলের উপর হইতে তুলিয়া লইয়া টেলিস্কোপকে T_2 স্থানে লইয়া রাখা হইল যাহাতে কলিমেটর হইতে আগত রশ্মি সোজাপথে টেলিস্কোপের ভিতর প্রবেশ করিতে পারে (direct readings)। এই অবস্থানে টেলিস্কোপের ক্রস-ওয়্যারকে রেখাছিদ্রের একই প্রান্তের সহিত মিলাইয়া উহার পাঠ (তিনবার) এবং গড় পাঠ লওয়া হইল। মনে করা যাক্, এই পাঠ এর মান R_2। সুতরাং, রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিকোণ

$$\delta_m = (R_1 \sim R_2)$$

(ix) সুতরাং, A ও δ_m-এর মান নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (7·11a)-এ বসাইলে, প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের মান (μ) পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

ভার্ণিয়ার ধ্রুবক নির্ণয়

বৃত্তাকার স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ...ডিগ্রী

প্রিজম্ টেবিল সংলগ্ন **প্রথম** ভার্ণিয়ারের ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ...মিনিট

" " **দ্বিতীয়** " " = ... "

টেলিস্কোপ সংলগ্ন **প্রথম** ভার্ণিয়ারের ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ...মিনিট

" " **দ্বিতীয়** " " " = ... "

প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ (A)-এর মান নির্ণয়

সারণী—1

ভার্নিয়ার	T_1 অবস্থায় টেলিস্কোপের পাঠ				T_2 অবস্থায় টেলিস্কোপের পাঠ				দুই অবস্থানে টেলিস্কোপে গড় পাঠের পার্থক্য ($2A$) $=(M_1 \sim M_2)$	গড় পার্থক্য ($2A$)	প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ (A)
	মূল স্কেলের পাঠ	ভার্নিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ (M_1)	মূল স্কেলের পাঠ	ভার্নিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ (M_2)			
	—	—	—		—	—	—				
প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	—	—	—		—	—	—				
	—	—	—		—	—	—			—	—
দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	—	—	—		—	—	—				

আলোক রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিকোণের মান নির্ণয়

সারণী—2

ভার্ণিয়ার	ন্যূনতম চ্যুতিকোণের জন্য পাঠ				আলোকরশ্মির সোজাপথের জন্য পাঠ				ন্যূনতম চ্যুতিকোণ ($\delta_m = R_1 \sim R_2$)	গড় ন্যূনতম চ্যুতিকোণের মান (δ_m)
	মূলস্কেল পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ (R_1)	মূলস্কেল পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ (R_2)		
	—	—	—		—	—	—			
প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—		—	—	—			—
	—	—	—		—	—	—			
দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—		—	—	—			

হিসাব (Calculation) :

সারণী 1 ও সারণী 2 হইতে A ও δ_m-এর মান যথাক্রমে পাইয়া সমীকরণ (7·11a) হইতে, প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের মান

$$\mu = \frac{\sin\ (A+\delta_m)/2}{\sin\ A/2} = \ldots\ldots$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব ও ক্রসওয়্যারের মধ্যে কোন লম্বনত্রুটি (parallax) যেন না থাকে।

(ii) প্রিজ্‌মের কোণ নির্ণয় করিবার সময়ে যেন, প্রিজ্‌মের শীর্ষ ঠিক প্রিজ্‌ম-টেবিলের কেন্দ্র বরাবর থাকে।

(iii) টেলিস্কোপ ঘুরাইবার সময়ে যদি উহার ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূলস্কেলের শূন্যদাগকে অতিক্রম করিয়া যায়, তাহা হইলে তখন মূলস্কেলের ঐ শূন্যদাগকে 360° ধরিয়া, ভার্ণিয়ার স্কেলের ঘূর্ণনের মান যথাযথভাবে হিসাব করিতে হইবে।

(iv) সকল পাঠ লইবার সময়ে ক্রসওয়্যারকে সর্বদা রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বের **একই** প্রান্ত বরাবর মিলাইতে হইবে। এই প্রান্ত কখনোই পরিবর্তন করিয়া পরীক্ষাকালে বিভিন্ন অবস্থায় পাঠ লওয়া ঠিক নয়।

প্রশ্নোত্তর

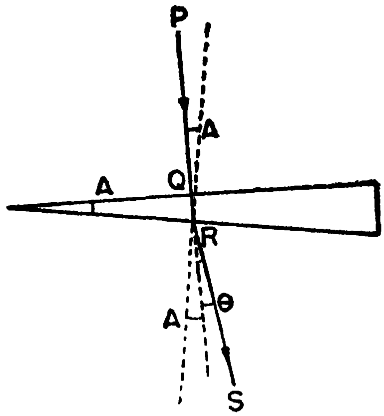
[স্পোক্‌ট্রোমিটার সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর ও আলোচনা, স্পেক্‌ট্রোমিটার সংক্রান্ত পরীক্ষার শেষে একত্র সন্নিবেশিত হইয়াছে]

7·12 একটি পাতলা প্রিজ্‌মের উপর লম্বভাবে আপতিত রশ্মির সাহায্যে ঐ প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the Refractive Index of the material of a thin prism by the method of Normal Incidence)

মূলনীতি (Theory) :

কোন একটি রশ্মি PQ যখন একটি পাতলা প্রিজ্‌মের এক তলে লম্বভাবে আপতিত হয়, তখন ঐ তলের মধ্য দিয়া উহা অবিচ্যুত অবস্থায় যাইবে এবং প্রিজ্‌মের দ্বিতীয় তলে প্রতিসরিত হইয়া RS পথ বরাবর যাইবে (চিত্র 7.24)। যদি RS রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ θ হয়, তাহা হইলে নির্গমন কোণের পরিমাণ হইবে $(A+\theta)$ যখন পাতলা

প্রিজ্‌মের প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান A। প্রিজ্‌মের দ্বিতীয় তলে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের পরিমাণ স্বভাবতই হইবে A।



চিত্র 7.24 : পাতলা প্রিজ্‌মে আলোর প্রতিসরণ

যেহেতু আলোর গতিপথ বিপরীত-গামী (reversible), সেজন্য বিপরীত-ভাবে, প্রিজ্‌মের উপর $(A+\theta)$ কোণে আপতিত কোন রশ্মির নির্গমন কোণ হইবে A। অতএব, সংজ্ঞা অনুযায়ী, বাহিরের মাধ্যমের সাপেক্ষে ঐ প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর মান হইবে।

$$\mu = \frac{\sin (A+\theta)}{\sin A} \qquad (7.12a)$$

যদি, প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ (A) খুব ছোট হয় ($\angle 5^\circ$), তাহা হইলে,

$\sin (A+\theta) = (A+\theta)$ রেডিয়ান

$\sin A \quad = A$ রেডিয়ান

সুতরাং, সমীকরণ (7·12a) হইতে,

$$\mu = \frac{\sin (A+\theta)}{\sin A} = \frac{(A+\theta)}{A} = 1 + \frac{\theta}{A} \quad \ldots \qquad (7.12b)$$

যদি, θ ও A—উভয়েরই মান ডিগ্রীতে পরিমাপ করা হয়, তাহা হইলে (7.12b) হইতে μ-এর মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

স্পেকট্রোমিটার ; পাতলা প্রিজ্‌ম ; স্পিরিট লেভেল, আলোক উৎস।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে স্পেকট্রোমিটারকে লেভেলিং এবং উহাকে সমান্তরাল রশ্মির জন্য প্রয়োজনীয় যথাযথভাবে ফোকাসিং করিয়া লইতে হইবে।

(পরীক্ষা 7·10-এ বর্ণিত সকল প্রকার ব্যবস্থা অনুযায়ী)

(ii) আলোক উৎসকে ঠিকভাবে বসাইয়া প্রিজ্‌মকে টেবিলে না রাখিয়া, কলিমেটরের ও টেলিস্কোপের মধ্য দিয়া রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে যথাযথভাবে ফোকাস্ করিয়া, স্কেল হইতে টেলিস্কোপের পাঠ লওয়া হইল। ইহার পরে হিসাব করিয়া, টেলিস্কোপকে ঠিক 90° ঘুরাইয়া নির্দিষ্ট স্থানে রাখা হইল, যাহাতে এখন উহার পাঠ হইবে, পূর্বোক্ত পাঠ $\pm 90^\circ$। এই অবস্থায় টেলিস্কোপের অক্ষ ঠিক কলিমেটরের অক্ষের সমকোণে থাকে।

(iii) পাতলা প্রিজ্‌মকে এরপর যথাযথভাবে টেবিলের উপর স্থাপন করা হইল। প্রিজ্‌ম টেবিলকে এরপর প্রিজ্‌মসহ ঘুরানো হইল, যাহাতে উহার একতল (AB) হইতে প্রতিফলিত আলো ঠিক টেলিস্কোপের মধ্যে (নির্দিষ্ট অবস্থায়) প্রবেশ করে, রেখা-ছিদ্রের প্রতিবিম্বের সহিত ক্রস্‌ওয়্যার মিলাইয়া। টেলিস্কোপকে নির্দিষ্ট রাখিয়া, প্রিজ্‌ম টেবিল সংলগ্ন দুইটি ভার্ণিয়ার হইতে পাঠ লওয়া হইল। মনে করা যাক্‌, এই পাঠের মান M_1।

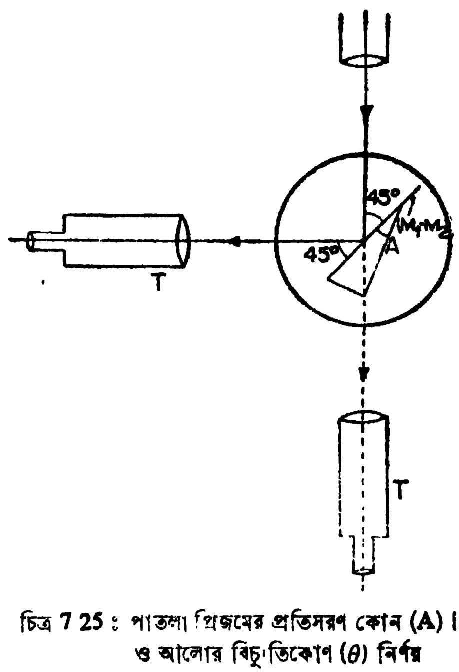
(iv) টেলিস্কোপ নির্দিষ্ট রাখিয়া, প্রিজ্‌ম টেবিলকে প্রিজ্‌মসহ উপযুক্ত দিকে ঘুরানো হইল যতক্ষণ না, প্রিজ্‌মের অপর পৃষ্ঠতল (AC) হইতে, প্রতিফলিত রশ্মি পুনরায় একইভাবে টেলিস্কোপের ক্রসওয়্যারের সহিত মিলিয়া যায়। দুইটি ভার্ণিয়ারের পাঠ লওয়া হইল এবং ধরা যাক, ঐ পাঠের মান M_2।

(v) সুতরাং, প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ (A) হইবে $A = \{180 - (M_1 \sim M_2)\}$ (চিত্র 7.25)। দুই ভার্ণিয়ারের জন্যই পৃথকভাবে এই সূত্র হইতে প্রতিসরণ কোণের মান (A) বাহির করিয়া গড় মান নির্ণয় করিতে হইবে।

(vi) এরপর, প্রিজ্‌মের ঐ অবস্থান হইতে, দ্বিতীয় পাঠের সহিত (M_2) 45° ঘুরাইয়া নির্দিষ্ট করিলে, প্রিজ্‌মের একতল কলিমেটর হইতে আগত রশ্মির সহিত সমকোণে থাকিবে।

(vii) টেলিস্কোপকে তখন ঘুরাইয়া, কলিমেটরের সহিত এক রেখা বরাবর আনিলে, প্রিজ্‌ম হইতে প্রতিসৃত রশ্মির দ্বারা রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব দেখিতে পাওয়া যাইবে।

(viii) ঐ প্রতিবিম্বকে ক্রসওয়্যারের সহিত যথাযথভাবে মিলাইয়া দুইটি ভার্ণিয়ারেরই পাঠ লইতে হইবে। এই পাঠ তিনবার লওয়া প্রয়োজন।



চিত্র 7.25 : পাতলা প্রিজমের প্রতিসরণ কোন (A) ও আলোর বিচ্যুতিকোণ (θ) নির্ণয়

(ix সবশেষে, প্রিজ্‌ম তুলিয়া লইয়া, কলিমেটর হইতে আগত প্রত্যক্ষ রশ্মির (direct rays) জন্য টেলিস্কোপের পাঠ (দুইটি ভার্ণিয়ার) লওয়া হইল। এই পাঠ হইতে পূর্বোক্ত পাঠ (viii -এর বিয়োগ করিলে, প্রিজম্‌ কর্তৃক আলোকরশ্মির চ্যুতিকোণের (θ) মান পাওয়া যাইবে।

(x) প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ (A) ও বিচ্যুতি কোণের পরিমাণ (θ) সমীকরণ (7.12a) বা (7.12b)-তে বসাইলে, প্রিজ্‌ম উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের মান (μ) পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

ভার্ণিয়ার ধ্রুবক নির্ণয়

বৃত্তাকার স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ... ডিগ্রী

প্রিজম্‌টেবিল ও টেলিস্কোপ সংলগ্ন দুইটি ভার্ণিয়ারের ভার্ণিয়ার ধ্রুবকের মান =......

[7·11 পরীক্ষার ফল-এ প্রদত্ত তালিকা অনুযায়ী করিতে হইবে।]

প্রত্যক্ষ (সোজা) আলোর জন্য টেলিস্কোপের অবস্থান= ......; একসমকোণী ঘুরাইয়া টেলিস্কোপের অবস্থান = ...

পাতলা প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণের (A) মান নির্ণয় সারণী—1

ভার্ণিয়ার	প্রিজমের প্রথম অবস্থানের জন্য				প্রিজমের দ্বিতীয় অবস্থানের জন্য				প্রিজ্‌মের দুই অবস্থানে পাঠের পার্থক্য $(M_1 \sim M_2)$	প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণের মান $A = \{180 - (M_1 - M_2)\}$	প্রিজ্‌মের কোণের গড় মান (A)
	মূলস্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ (M_1)	মূলস্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ (M_2)			
	—	—	—		—	—	—				
প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—		—	—	—				
	—	—	—		—	—	—				—
দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—		—	—	—				

প্রিজ্‌মের উপর লম্বভাবে আপতিত রশ্মির চ্যুতিকোণের (θ) মান নির্ণয় :

সারণী—1-এ প্রাপ্ত প্রিজ্‌মের দ্বিতীয় অবস্থান (M_2) হইতে উপযুক্ত দিকে প্রিজ্‌মকে 45° ঘুরাইলে প্রিজ্‌মের নূতন অবস্থানের মান= ......

সারণী—2

ভাঁর্ণিয়ার	বিচ্যুত আলোর প্রতিবিম্বের জন্য				সোজাপথে আসা আলোর প্রতিবিম্বের জন্য				প্রিজম্ কর্তৃক আলোকরশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ (θ)	বিচ্যুতির গড় পরিমাণ (θ)
	মূলস্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ	মূলস্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ	গড় পাঠ		
	—	—	—		—	—	—			
প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—		—	—	—			—
	—	—	—		—	—	—			
দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—		—	—	—			

হিসাব (Calculation) :

সারণী 1 হইতে প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ $(A)=$ ...... ডিগ্রী

সারণী 2 হইতে রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ $(\theta)=$ ...... ডিগ্রী

সমীকরণ (7.12 b) হইতে, প্রতিসরাঙ্ক $\mu=1+\theta/A=$ ......

সতর্কতা (Precautions) :

[পরীক্ষা 7·11-এ বর্ণিত সকল সতর্কতাগুলিই এক্ষেত্রেও অবলম্বন করিতে হইবে।]

প্রশ্নোত্তর

[এই পরীক্ষার প্রশ্নোত্তর ও পরবর্তী পরীক্ষার (7·13) শেষে স্পেক্‌ট্রোমিটার সংশ্লিষ্ট প্রশ্নোত্তর সহ একত্রে সন্নিবেশিত হইয়াছে।]

7·13 প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মির বিভিন্ন আপতন কোণ এবং তাহাদের বিচ্যুতি কোণের মধ্যে সম্বন্ধ একটি লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ এবং উহা হইতে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক এবং রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিকোণের মান নির্ণয় (To plot the Angle of Incidence-Deviation (I-D) curve for a prism and hence to find out the angle of minimum deviation and the refractive index for the material of the prism)

মূলনীতি (Theory) :

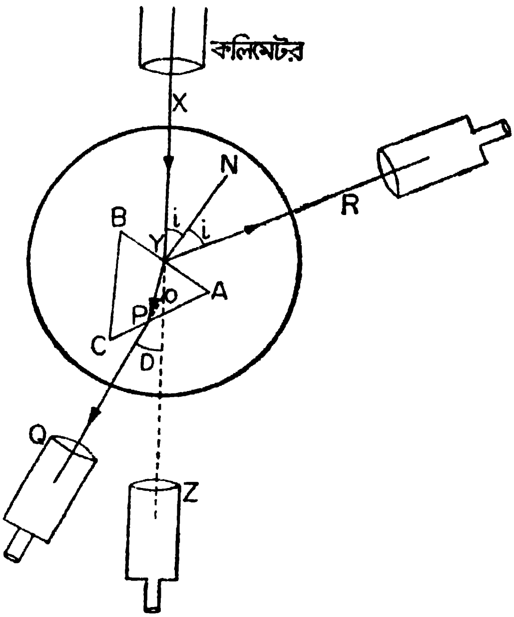
একটি প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া আলোকরশ্মি যাইলে ঐ রশ্মির যে বিচ্যুতি ঘটে, তাহার পরিমাণ নির্ভর করে, আপতন কোণের উপর, প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণের উপর, প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের উপর এবং আলোকরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (বর্ণ) উপর।

এখন যদি একটি রশ্মি XY কোন প্রিজ্‌মের (ABC) একটি তলের (AB) উপর $\angle i$ কোণে আপতিত হয়, তাহা হইলে আপতিত ঐ রশ্মির কিছু অংশ প্রিজ্‌মের AB তল হইতে YR বরাবর প্রতিফলিত হইবে (চিত্র 7.26) যাহার প্রতিফলন কোণ $\angle XYN$। রশ্মির বাকী অংশ AB তলে প্রতিসরিত হইয়া AC তল হইতে নির্গত হইবে PQ বরাবর। সুতরাং নির্গত রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ হইবে

$\angle QOZ = \angle D$। এই বিচ্যুতি কোণের পরিমাণ স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে পরিমাপ করা যায়। এবং যদি আপতিত রশ্মির সোজা পথ XYZ এবং প্রতিফলিত রশ্মি YR-এর মধ্যকার কোণ ($\angle ZYR$) মাপা যায়, তাহা হইলে ঐ

$$\angle ZYR = (180° - \angle XYR) \quad \cdots \quad (7.13\,a)$$

$$\therefore \quad \angle i = \angle XYN = \tfrac{1}{2}(180° - \angle XYR) \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.13b)$$



চিত্র 7.26 : প্রিজ্‌মের রশ্মির আপতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণ পরিমাপ

এই আপতন কোণের মান পরিবর্তন করিলে, বিচ্যুতি কোণ ($\angle D$)-এর মানও পরিবর্তিত হইবে। সুতরাং, বিভিন্ন আপতন কোণ ($\angle i$) পরিমাপ করিয়া ও সংশ্লিষ্ট বিচ্যুতি কোণ ($\angle D$) নির্ণয় করিয়া যদি একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায়, তাহা হইলে লেখচিত্রের রূপ (চিত্র 7.27)-এ দেখানো হইয়াছে। এই লেখচিত্র হইতে দেখা যায় যে, রশ্মির আপতন কোণের মান যখন $\angle i_0$, তখন উহার বিচ্যুতি কোণ ন্যূনতম (D_m) হয়। লেখচিত্র হইতে ঐ ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের (D_m) নির্ণয় করিয়া এবং প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণের ($\angle A$) মান নির্ণয় করিয়া, প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (μ)-এর মান পাওয়া যাইবে এই সূত্র হইতে,

$$\mu = \frac{\sin \frac{A + D_m}{2}}{\sin A/2} \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.13c)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

স্পেকট্রোমিটার ; স্পিরিট লেভেল, প্রিজম্‌, আলোক উৎস।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) ঃ

(i) স্পেক্‌ট্রোমিটারের প্রাথমিক ব্যবস্থাদি (যথা—লেভেলিং, ফোকাসিং) প্রথমে সম্পন্ন করিতে হইবে (পরীক্ষা 7·11 দ্রষ্টব্য)।

(ii) প্রিজম্‌, টেবিলে বসাইবার পূর্বে, কলিমেটর ও টেলিস্কোপকে একই সরলরেখায় আনিয়া প্রত্যক্ষ রশ্মির জন্য পাঠ, দুইটি ভার্ণিয়ার হইতেই লইয়া রাখিতে হইবে।

(iii) ইহার পর প্রিজ্‌মকে টেবিলের উপর এমনভাবে বসাইতে হইবে, যাহাতে উহার একতলে রশ্মি আপতিত হইলে, প্রতিফলিত ও প্রতিসরিত—উভয় রশ্মিই খালি চোখে দেখিতে পাওয়া যায়।

(iv) এই অবস্থায় টেলিস্কোপকে ঘুরাইয়া প্রথমে প্রতিফলিত রশ্মির জন্য রেখাছিদ্রের একপ্রান্তকে ক্রস্‌ওয়্যারের সহিত মিলাইয়া, দুইটি ভার্ণিয়ার স্কেল হইতে পাঠ লইয়া মোট পাঠ লইতে হইবে। এই পাঠ ঐ একই অবস্থায় অন্ততঃ তিনবার লইয়া গড় পাঠ লইতে হইবে।

(v) প্রিজ্‌মকে না নড়াইয়া, ঐ অবস্থায় টেলিস্কোপকে ঘুরাইয়া আনিয়া প্রতিসরিত রশ্মির জন্য রেখাছিদ্রের একই প্রান্তের প্রতিবিম্ব ফোকাস্‌ করিতে হইবে এবং দুইটি ভার্ণিয়ার হইতে পাঠ লইয়া, অন্ততঃ তিনবার মোট পাঠ লইয়া, গড় পাঠ নির্ণয় করিতে হইবে।

(vi) আলোকরশ্মির প্রত্যক্ষ পাঠ হইতে, প্রতিফলিত রশ্মির জন্য প্রাপ্ত পাঠ বিয়োগ করিলে, $\angle ZYR$ পাওয়া যাইবে, যাহা হইতে সমীকরণ (7·13b)-এর সাহায্যে আপতন কোণের ($\angle i$) মান পাওয়া যাইবে।

(vii) অনুরূপভাবে, আলোকরশ্মির প্রত্যক্ষ পাঠ হইতে প্রতিসরিত রশ্মির পাঠ বিয়োগ করিলে, রশ্মির বিচ্যুতি কোণের ($\angle D$) মান পাওয়া যাইবে। সুতরাং, প্রিজ্‌মের একটি অবস্থানের জন্য আপতন কোণ ($\angle i$) ও সংশ্লিষ্ট বিচ্যুতি কোণ ($\angle D$)-এর মান পাওয়া গেল।

(viii) এখন প্রিজ্‌মকে 10° ডিগ্রী মত কলিমেটরের দিকে ঘুরাইয়া স্থাপন করা হইল এবং ঐ নির্দিষ্ট স্থানে পুনরায়, আপতন কোণ ও সংশ্লিষ্ট বিচ্যুতি কোণের মান নির্ণয় করা হইল।

(ix) এইভাবে, যতগুলি সম্ভব অবস্থানে (অন্ততঃ 6/7টি) প্রিজ্‌মকে রাখিয়া, প্রতিক্ষেত্রে আপতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণ-এর মান নির্ণয় করা হইল।

(x) পরিশেষে, আপতন কোণ বনাম বিচ্যুতি কোণ-এর একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল (চিত্র 7.27) যাহা হইতে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের পরিমাণ (D_m) নির্ণয় করিয়া, সমীকরণ (7.13c) হইতে, প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা হইল।

ফল (Results) :

স্পেক্‌ট্রোমিটারের ভার্ণিয়ার ধ্রুবকের মান নির্ণয়

[7·11 পরীক্ষার ফল দ্রষ্টব্য এবং উহার অনুরূপ পাঠ লইতে হইবে]

প্রত্যক্ষ রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের পাঠ

সারণী—1

ভার্ণিয়ার	প্রত্যক্ষ রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের			
	মূলস্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ার স্কেলের পাঠ	মোট পাঠ (To)	গড় পাঠ (To)
	—	—	—	
প্রথম	—	—	—	—
	—	—	—	
	—	—	—	
দ্বিতীয়	—	—	—	—
	—	—	—	

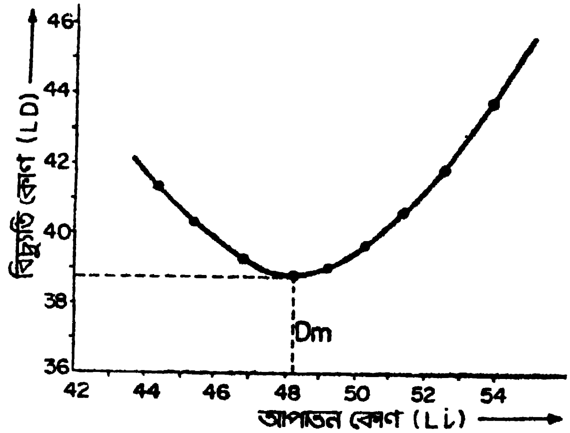
আপতিত রশ্মির আপতন কোণ ($\angle i$) ও সংশ্লিষ্ট বিচ্যুতি কোণ ($\angle D$)-এর মান নির্ণয়

সারণী-2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ভার্নিয়ার	প্রতিফলিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের মূলস্কেলের পাঠ	প্রতিফলিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ	প্রতিফলিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের মোট পাঠ (T_1)	প্রতিফলিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের গড় পাঠ (T_1)	প্রতিসরিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের মূলস্কেলের পাঠ	প্রতিসরিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ	প্রতিসরিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের মোট পাঠ (T_2)	প্রতিসরিত রশ্মির জন্য টেলিস্কোপের গড় পাঠ (T_2)	রশ্মির আপতন কোণ $\angle i=\frac{180-(T_1\sim T_0)}{2}$	রশ্মির বিচ্যুতিকোণ $\angle D=(T_2\sim T_0)$	আপতন কোণের গড় মান ($\angle i$)	বিচ্যুতি কোণের গড়মান $\angle(D)$
1	প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3	প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	প্রথম	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	দ্বিতীয়	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(i – D) লেখচিত্র অঙ্কন

এই লেখচিত্রে X-অক্ষ বরাবর আপতনকোণ ($\angle i$) এবং Y-অক্ষ বরাবর বিচ্যুতিকোণ ($\angle D$) প্রকাশ করিতে হইবে (চিত্র 7.27)। লেখচিত্রের জন্য **সারণী-3** হইতে পাঠ লইয়া বিভিন্ন $\angle i$ ও $\angle D$-এর মান বসাইয়া মুক্ত হস্তে চিত্র অঙ্কন করিতে হইবে। ঐ লেখচিত্র



চিত্র 7.27 : (i—D) লেখচিত্র

হইতে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের মান (D_m) নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (7.13c) হইতে [প্রিজমের কোণ ($\angle A$)-এর মান জানিয়া বা নির্ণয় করিয়া] প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যাইবে।

সারণী-3

আপতন কোণ ($\angle$i)	—	—	—	—	—	—	—
বিচ্যুতি কোণ ($\angle$D)	—	—	—	—	—	—	—

সতর্কতা (**Precautions**) :

[পরীক্ষা 7 11-এ বর্ণিত সকল সতর্কতাগুলিই এক্ষেত্রেও অবলম্বন করিতে হইবে।]

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ প্রিজমের ভূমি, প্রতিসরণ কোণ, শীর্ষ, প্রধান ছেদ ও প্রতিসরণ তল কাহাকে বলে ?

উঃ [যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ আলোর বর্ণের সহিত বিচ্যুতি কোণের কোন সম্পক আছে কি ?

উঃ বেগুনী আলোর জন্য বিচ্যুতি কোণ, লাল আলোর জন্য বিচ্যুতি কোণ অপেক্ষা বেশী অর্থাৎ $D_v > D_r$ ।

প্রঃ আপতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণের মধ্যে সম্পর্ক কিরূপ ?

উঃ [চিত্র 7.27-এ প্রদত্ত লেখচিত্র পাওয়া যাইবে।]

প্রঃ বিচ্যুতি কোণ কখন ন্যূনতম হয় ?

উঃ যখন আপতিত রশ্মির আপতন কোণ ও ঐ রশ্মির নির্গমনকোণ সমান হয়, তখন বিচ্যুতি কোণের মান ন্যূনতম হয়।

প্রঃ প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ পরিবর্ধিত হইলে কি বিচ্যুতি কোণ পরিবর্তিত হয় ?

উঃ হ্যাঁ, প্রতিসরণ কোণ বেশী হইলে, বিচ্যুতি কোণও বেশী হইবে।

প্রঃ দুইটি ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়া হয় কেন ?

উঃ টেলিস্কোপের ঘূর্ণন অক্ষের উপর বৃত্তাকার স্কেলের কেন্দ্র না থাকিলে, কোণ পরিমাপে যে ভুল হয়, তাহা দূর করিবার জন্য দুইটি ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়া হয়।

প্রঃ পাতলা প্রিজমের কোণ ($\angle A$) মাপিবার জন্য মোটা প্রিজমের ক্ষেত্রের পদ্ধতি অবলম্বন করা হয় না কেন ?

উঃ পাতলা প্রিজমের কোণের মান খুব কম বলিয়া, ঐ পদ্ধতি অবলম্বন করিলে $2\angle A$-এর মান কম হইবে এবং ভুলের পরিমাণও বেশী হইবে।

প্রঃ রেখাছিদ্রের যে প্রতিবিম্ব টেলিস্কোপে দেখা যায়, তাহা কিরূপ ধরনের ?

উঃ উহা অসদ্‌বিম্ব এবং ফোকাসিত অবস্থায় উহা অসীম দূরে গঠিত হয়।

প্রঃ সাদা আলো ব্যবহার করিলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে রেখাছিদ্রের একটি প্রতিবিম্বের পরিবর্তে প্রিজম কর্তৃক একটি বর্ণালী (spectrum) গঠিত হইবে যাহাতে বিভিন্ন বর্ণের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান ভিন্ন হইবে।

প্রঃ সকল আপতন কোণের জন্যই কি নির্গত রশ্মি পাওয়া যাইবে ?

উঃ না আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট পরিসীমার মধ্যেই কেবল নির্গত রশ্মি পাওয়া যাইবে না।

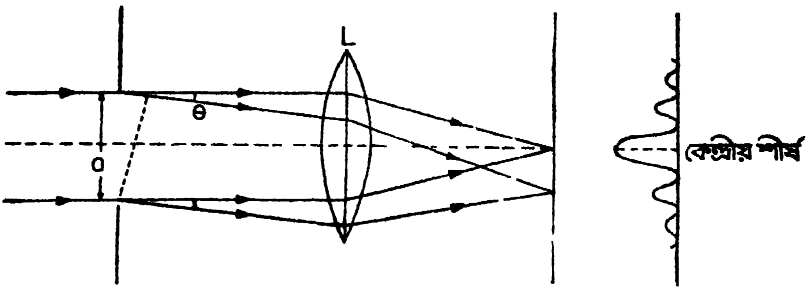
[এতদ্ব্যতীত, আলোর বিচ্ছুরণ ও বিচ্ছুরণক্ষমতা সংক্রান্ত প্রিজমের ধর্মগুলি সম্বন্ধে অবহিত হওয়া প্রয়োজন।]

7·14 বিবর্তন চিত্র পর্যবেক্ষণ করিয়া একটি সরু রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা নির্ণয় (Determination of the width of a narrow slit by observing the diffraction pattern produced by it)

মূলনীতি (Theory) ঃ

একবর্তরঙ্গ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট (monochromatic) কোন রশ্মি যখন স্পেক্ট্রোমিটারের কলিমেটর হইতে সমান্তরাল রশ্মি হিসাবে নির্গত হইয়া একটি সরু রেখাছিদ্রের (slit) উপর লম্বভাবে পড়ে, তখন ঐ রেখাছিদ্র কর্তৃক আলোকরশ্মির বিবর্তন (diffraction) ঘটিবে। একটি টেলিস্কোপকে যদি ঐ রেখাছিদ্রকে

অক্ষ হিসাবে ধরিয়া ঘুরানো হয়, তাহা হইলে, টেলিস্কোপের মধ্যে পর্যায়ক্রমে কয়েকটি আলোকিত ও অন্ধকার স্বল্পপরিসর পটি বা ব্যাণ্ড (**band**) দেখা যাইবে। এই পটিগুলিকে বিবর্তন পটি (**diffraction bands**) বলে এবং ঐগুলি কেন্দ্রীয়



চিত্র 7.28 সরু রেখাছিদ্র দ্বারা আলোর বিবর্তন

বিবর্তন শীর্ষের (**central diffraction maxima**) উভয় পার্শ্বে অবস্থান করিবে (চিত্র 7 28)। কেন্দ্রীয় শীর্ষের দুই পার্শ্বে, সন্নিহিত দুইটি স্বল্প পরিসর অন্ধকার পটি যদি ঐ রেখাছিদ্রে 'θ' কোণ উৎপন্ন করে এবং যদি প্রদত্ত রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা 'a' হয় এবং আপতিত আলোকরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 'λ' হয়। তাহা হইলে

$$\lambda = a \sin \theta$$

বা, $$a = \frac{\lambda}{\sin \theta} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.14a)$$

যদি 'θ'-এর মান খুব অল্প হয়, তাহা হইলে

$$\sin \theta = \theta$$

এবং $$a = \frac{\lambda}{\theta} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7.14b)$$

সুতরাং, তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ)-এর মান জানিলে এবং 'θ'-এর মান পরিমাপ করিতে পারিলে, রেখাছিদ্রের প্রশস্ততার মান (a) পাওয়া যাইবে।

এখন যেহেতু 'θ'-এর মান খুব অল্প হয়, সেজন্য উহাকে মাপিবার জন্য অন্য এক পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। স্পেকট্রোমিটারের টেলিস্কোপের অক্ষের গায়ে একটি ছোট দর্পণ (M) লাগানো হয়। ঐ দর্পণের প্রতিফলন তল উল্লম্ব থাকে। ঐ দর্পণ হইতে D সেমি দূরে একটি টেলিস্কোপ(T') রাখা হইল যাহার সহিত একটি মিটার স্কেল (S) অনুভূমিক অবস্থায় লাগনো থাকে। ঐ স্কেলটিকে আলোকিত করিলে, স্কেলের একটি দাগ দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া T_1 টেলিস্কোপের মধ্যে ফোকাসিত হইবে। স্পেকট্রোমিটারের টেলিস্কোপের (T) ক্রস্‌ওয়্যারকে কোন একটি অন্ধকার পটির সহিত মিলানো অবস্থায়, T_1 টেলিস্কোপে স্কেলের একটি দাগকে মেলানো হইল। মনে করা যাক, এক্ষেত্রে T_1 টেলিস্কোপের পাঠ হয় M_1। পুনরায় টেলিস্কোপ (T)-কে ঘুরাইয়া সন্নিহিত আর একটি অন্ধকার পটির সঙ্গে ক্রস্‌ওয়্যারকে মিলাইয়া, T_1 টেলিস্কোপে

স্কেলের পাঠ লওয়া হইল। যদি এই পাঠ হয় M_2, তাহা হইলে, স্কেলের পাঠের রৈখিক সরণ হইবে d, যাহার মান হইবে $d = M_1 - M_2$ (চিত্র 7.29)।

সুতরাং স্পেকট্রোমিটার টেলিস্কোপের (T) কৌণিক সরণ (θ) (যাহা দুইটি সন্নিহিত অন্ধকার পটির মধ্যেকার কৌণিক ব্যবধান) হইবে

$$\theta = \frac{d}{2D} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.14c)$$

∵ সমীকরণ (7.14b) হইতে

$$a = \frac{\lambda}{\theta} = \frac{2D\lambda}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.14d)$$

অতএব, d, D এবং λ-এর মান জানিতে পারিলে, রেখাছিদ্রের প্রশস্ততার মান (a) পাওয়া যাইবে।

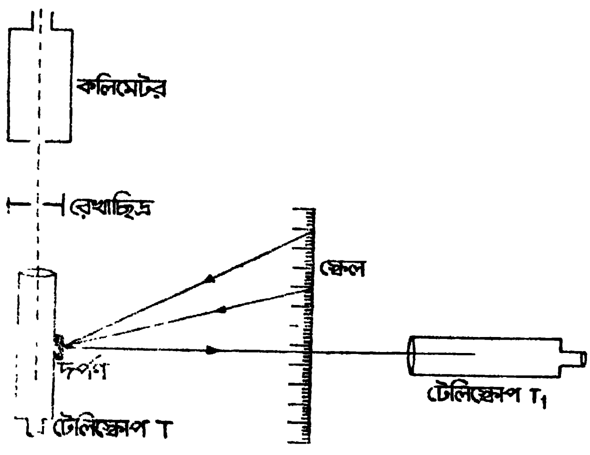
যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

স্পেকট্রোমিটার ; প্রিজ্‌ম ; স্পিরিট লেভেল ; উল্লম্ব নিয়ন্ত্রণযোগ্য একটি রেখা-ছিদ্র ; আলোকউৎস ; টেলিস্কোপ ; স্কেল ; ছোট দর্পণ।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) স্পেকট্রোমিটারকে পরীক্ষার উপযোগী করিবার জন্য যথারীতি লেভেলিং, ফোকাসিং ও উৎসকে ঠিকমতভাবে স্থাপনা করা হইল। কলিমেটরের রেখাছিদ্রকে ঠিকভাবে স্থাপন করিয়া, প্রত্যক্ষ রশ্মির সাহায্যে টেলিস্কোপের ক্রস্‌ওয়্যারকে ফোকাস করা হইল।

(ii) যে রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা নির্ণয় করিতে হইবে, তাহা যে ফ্রেমে আটকানো থাকে, সেই ফ্রেমটিকে প্রিজ্‌মটেবিলের উপর এমনভাবে স্থাপন করা হইল যে, যেন উহার



চিত্র 7.29 : বিবর্তন কোণের পরিমাপ ব্যবস্থা

এক ধারে, কলিমেটর হইতে আগত রশ্মি লম্বভাবে আপতিত হয় এবং ফ্রেমটি ও রেখা-

ছিদ্রটি যেন উল্লম্বতলে থাকে, এবং রেখাছিদ্রের কেন্দ্রীয় অক্ষ যেন প্রিজ্‌মটেবিলের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রম করে।

(iii) টেলিস্কোপের অক্ষ বরাবর একটি ছোট দর্পণ মোম বা অন্য কোন বস্তুর সাহায্যে আটকানো হইল যাহাতে, দর্পণের প্রতিফলন তল উল্লম্ব থাকে। টেলিস্কোপ হইতে কিছু দূরে একটি স্কেল, টেলিস্কোপ ও আলোকউৎস এরূপে স্থাপন করা হইল যে, যেন আলোকিত স্কেলের পাঠ, ঐ দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইবার পর ঐ ছোট টেলিস্কোপের সাহায্যে তাহা দেখা যায় (চিত্র 7.29)।

(iv) স্পেক্‌ট্রোমিটারের টেলিস্কোপকে এরপর ফোকাস্‌ করিয়া প্রদত্ত রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়া বিবর্তিত রশ্মির জন্য দেখা হইল। দেখা যাইবে যে, অন্ধকার ও আলোকিত পাঠ ক্রমান্বয়ে উৎপাদিত হইয়াছে। রশ্মির বিবর্তনের ফলে কেন্দ্রীয় বিবর্তন শীর্ষের দুই পার্শ্বের দুইটি সন্নিহিত অন্ধকার পটির উপর টেলিস্কোপের ক্রসওয়্যার ফোকাস্‌ করিতে হইবে এবং প্রতিবারেই ঐরূপ ফোকাসিত অবস্থায় টেলিস্কোপকে আটকাইয়া, উহার দর্পণ হইতে প্রতিফলিত স্কেলের পাঠের মান ছোট টেলিস্কোপের সাহায্যে লইতে হইবে। দুইটি অন্ধকার পটির জন্য (কেন্দ্রীয় বিবর্তন শীর্ষের দুইপার্শ্বে) স্কেলের দুইটি প্রতিফলিত পাঠ পাওয়া যাইবে। এই দুইটি পাঠই হইবে যথাক্রমে M_1 ও M_2। ইহাদের মান হইতে, d-এর মান পাওয়া যাইবে।

(v) বিকল্প ব্যবস্থা হিসাবে, টেলিস্কোপ (T) কেন্দ্রীয় বিবর্তন শীর্ষের এক প্রান্তে শেষ অন্ধকার পটি হইতে সুরু করিয়া, প্রতিটি অন্ধকার পটির জন্য ফোকাসিত অবস্থায়, স্কেলের প্রতিফলিত পাঠের মান, টেলিস্কোপে (T_1) দ্বারা নির্ণয় করা হয় এবং মূল টেলিস্কোপকে, কেন্দ্রীয় বিবর্তন শীর্ষের অপর প্রান্তে লইয়া, অনুরূপভাবে, সেইদিকে সকল অন্ধকার পাঠগুলির জন্য ফোকাসিত অবস্থায়, স্কেলের প্রতিফলিত পাঠের মান লইতে হইবে।

(vi) এই পাঠ হইতে যথাযথভাবে কেন্দ্রীয় বিবর্তন শীর্ষের উভয় পার্শ্বে সমসংখ্যক পাঠের সারির মধ্যে স্কেলের পাঠের ব্যবধানকে মোট পাঠসংখ্যা দ্বারা ভাগ করিলেই, দুইটি সন্নিহিত পটির জন্য পাঠের পার্থক্য (d) পাওয়া যাইবে।

(vii) প্রতিটি পটির পাঠের জন্য টেলিস্কোপকে একইস্থানে অন্ততঃ দুইবার স্থাপন করিয়া পাঠ লইয়া তাহাদের গড় পাঠ লওয়া বাঞ্ছনীয়।

(viii) দর্পণ ও স্কেলের মধ্যেকার দূরত্ব (D) মাপিয়া (অন্ততঃ তিনবার) তাহাদের গড় মান নির্ণয় করা হইল।

(ix) পরিশেষে, d, D ও ব্যবহৃত আলোকউৎসের (সাধারণতঃ সোডিয়াম বাষ্প বাতি) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) জানা যাইলে, সমীকরণ (7.14d) হইতে, রেখাছিদ্রের প্রশস্ততার মান (a) পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

স্কেল হইতে দর্পণের দূরত্ব $= \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} = D = \cdots\cdots$ সেমি.

ব্যবহৃত আলোকউৎসের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) $= \cdots\cdots$ সেমি.

সারণী—1

কেন্দ্রীয় বিবর্তন শীর্ষক ক্রমকে শূন্য ধরিয়া দুই পার্শ্বের অন্ধকার পটিগুলির ক্রমসংখ্যা	টেলিস্কোপ T_1-এ স্কেলের পাঠ যখন টেলিস্কোপ T-কে অন্ধকার পটিগুলির: বামদিক হইতে ডানদিকে আনা হয় (M′)	টেলিস্কোপ T_1-এ স্কেলের পাঠ যখন টেলিস্কোপ T-কে অন্ধকার পটিগুলির: ডানদিক হইতে বামদিকে আনা হয় (M″)	টেলিস্কোপ T_1-এ স্কেলের পাঠ যখন টেলিস্কোপ T-কে অন্ধকার পটিগুলির: গড় পাঠ $M = \frac{M'+M''}{2}$	টেলিস্কোপ T_1-এর ভিতর প্রত্যেক অন্ধকার পটির জন্য স্কেলের যে গড় পাঠ পাওয়া যায়, তাহাদের 6টি পাঠের পার্থক্য (y) (সেমি)	y-এর গড় মান (সেমি)	d-এর মান $(=\frac{y}{6})$ (সেমি)	রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা $a=\frac{2D\lambda}{d}$ (সেমি)
5	—	—	—(M_1)	—$(M_7 - M_1)$			
4	—	—	—(M_2)	—$(M_8 - M_2)$			
3	—	—	—(M_3)	—$(M_9 - M_3)$			
2	—	—	—(M_4)		—	—	—
1	—	—	—(M_5)				
কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল বিবর্তন শীর্ষ							
1	—	—	—(M_7)	—$(M_{10} - M_4)$			
2	—	—	—(M_8)	—$(M_{11} - M_5)$			
3	—	—	—(M_9)				
4	—	—	—(M_{10})				
5	—	—	—(M_{11})				

হিসাব (Calculation):

সমীকরণ (7.14d) হইতে,

রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা $a=\frac{2D\lambda}{d}=\cdots\cdots$ সেমি।

সতর্কতা (Precautions):

(i) আলোকউৎসের ঔজ্জ্বল্য খুব বেশী না হইলে এবং আলোকউৎস, কলিমেটরের রেখাছিদ্র এবং প্রদত্ত রেখাছিদ্রের সংরেখন (alignment) ঠিকমত না হইলে, অন্ধকার ও উজ্জ্বল পাঠ ঠিকমত দেখা যাইবে না।

(ii) দর্পণ ও স্কেলের মধ্যেকার দূরত্ব যতটা সম্ভব বেশী রাখা প্রয়োজন (অন্ততঃ 2 মিটার)। ইহাতে স্কেলের প্রতিফলিত পাঠের রৈখিক সরণ যথেষ্ট বেশী হইবে।

(iii) প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে, এই পদ্ধতিতে স্পেক্‌ট্রোমিটার সংশ্লিষ্ট ভার্ণিয়ার ও মূল স্কেলের পাঠ লওয়ার কোন প্রয়োজন হয় না।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ আলোর বিবর্তন (diffraction) বলিতে কি বুঝায়?

উঃ [যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ যদি পাঠের প্রশস্ততা খুব বেশী হয় তাহা হইলে কি হইবে?

উঃ সেক্ষেত্রে দুইটি অন্ধকার পটির মধ্যকার কৌণিক দূরত্ব কমিয়া যাইবে এবং পরিশেষে বিবর্তন-জনিত পটি আর দেখিতে পাওয়া যাইবে না।

প্রঃ বিবর্তন ও ব্যতিচার (interference)-এর মধ্যে পার্থক্য কি?

উঃ [যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ ফ্রেনেল ও ফ্রনহফার শ্রেণীর বিবর্তনের মধ্যে পার্থক্য কি?

উঃ ফ্রেনেল শ্রেণীতে উৎস এবং পর্যবেক্ষণ ব্যবস্থা উভয়েই বিবর্তন-সৃষ্টিকারী বাধার নিকটে (finite distance) থাকে কিন্তু ফ্রনহফার শ্রেণীতে, উভয়ই, বাধা হইতে অসীম দূরে (infinite distance) থাকে এবং আলোকরশ্মি সমান্তরালভাবে রেখাছিদ্রের উপর আপতিত হয়। এইক্ষেত্রে বিবর্তন ফ্রনহফার শ্রেণীর।

প্রঃ এক রং বিশিষ্ট আলোকরশ্মির পরিবর্তে, সাদা আলো এই পরীক্ষায় ব্যবহার করিলে কি হইবে?

উঃ সেক্ষেত্রে পটিগুলি রঙ্গীন দেখা যাইবে।

প্রঃ আলোকোজ্জ্বল পটির পরিবর্তে কেন অন্ধকার পটির মধ্যে কৌণিক দূরত্ব মাপা হয়?

উঃ অন্ধকার পটিগুলির মধ্যেকার কৌণিক দূরত্ব (সন্নিহিতগুলির) সমান থাকে কিন্তু আলোকিত পটির মধ্যে উহা সমান থাকে না।

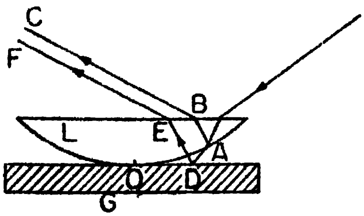
7.15 একটি সমোত্তল লেন্সকে একটি কাচের পাতের উপর রাখিয়া উৎপন্ন 'নিউটন বলয়'-এর সাহায্যে ঐ লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধের মান নির্ণয়

(Determination of the Radius of Curvature of the convex surface of a plano-convex lens by means of formation of Newton's Rings)

মূলনীতি (Theory):

এক তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন আলোকরশ্মি (λ) সমান্তরালভাবে যখন একটি

সমোত্তল লেন্স (L) এবং কাচের প্লেট (G)-এর মধ্যে আবদ্ধ কীলকাকারের (wedge-shaped) কোন মাধ্যমের মধ্যে আপতিত হয়, তখন ঐ রশ্মির এক অংশ লেন্সের বক্র ভাগ হইতে প্রতিফলিত হয় (ABC বরাবর) এবং অপর অংশ আবদ্ধ মাধ্যমের নীচতলের এক বিন্দু (D) হইতে প্রতিফলিত হইয়া (DEF বরাবর) যায়। এই দুই প্রতিফলিত রশ্মি (ABC ও DEF) যেহেতু একই রশ্মি হইতে উদ্ভূত, সুতরাং তাহারা সুসম্বদ্ধ (coherent)। এই দুই সুসম্বদ্ধ রশ্মির মধ্যে ব্যতিচার (interference) ঘটা সম্ভব যাহার ফলে A বিন্দুটি হয় অন্ধকার নয়ত উজ্জ্বল দেখাইবে (চিত্র 7.30)। কিরূপ ঐ A বিন্দুটি দেখাইবে, তাহা নির্ভর করে ঐ দুই প্রতিফলিত রশ্মির দশার পার্থক্যের উপর। যদি O বিন্দু লেন্স ও কাচের প্লেটের সংস্পর্শ বিন্দু হয়, তাহা হইলে O-কে কেন্দ্র করিয়া OA ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অঙ্কন করিলে, ঐ বৃত্তের পরিধির উপর সমস্ত বিন্দু হয় উজ্জ্বল নয়ত অন্ধকার হইবে। অর্থাৎ, OA ব্যাসার্ধের একটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার বলয় গঠিত হইবে। এই বলয়কেই 'নিউটন বলয়' বলে। এই বলয়গুলি পর্যায়ক্রমে অন্ধকার ও উজ্জ্বল হইবে।



চিত্র 7.30 : 'নিউটন বলয়' গঠন

যদি আপতিত রশ্মির আপতন কোণ θ হয়, আবদ্ধ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক-এর মান হয় μ, n-তম অন্ধকার বা উজ্জ্বল বলয়ের ব্যাস হয় Dn। তাহা হইলে

$$\frac{Dn^2}{4}=\frac{n\lambda R}{\mu\cos\theta} \quad \cdots \quad \cdots \text{ (অন্ধকার বলয়ের জন্য)}$$

এবং $$\frac{Dn^2}{4}=\frac{2n+1}{2}\times\frac{\lambda R}{\mu\cos\theta} \quad \cdots \quad \cdots \text{ (উজ্জ্বল বলয়ের জন্য)}$$

(λ—ব্যবহৃত আলোকরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ; R—সমোত্তল লেন্সের উত্তল তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ।)

লম্বভাবে আলোকরশ্মির আপতনের ক্ষেত্রে, $\theta=0$ এবং লেন্স ও প্লেটের মধ্যকার আবদ্ধ মাধ্যম যদি বায়ু হয় ($\mu=1$), তাহা হইলে,

$$Dn^2=4n\lambda R \quad \cdots \text{ (অন্ধকার বলয়ের ক্ষেত্রে)}$$

এবং $$Dn^2=2(2n+1)\lambda R \quad \cdots \text{ (উজ্জ্বল বলয়ের ক্ষেত্রে)} \quad \cdots(7.15a)$$

সুতরাং, n-তম উজ্জ্বল বা অন্ধকার বলয়ের ব্যাস মাপিতে পারিলে এবং ব্যবহৃত আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) জানা থাকিলে এই সমীকরণ হইতে লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধের মান (R) পাওয়া যায়।

কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে, যেহেতু কেন্দ্রীয় অন্ধকার বিন্দুর নিকটবর্তী বলয়গুলি ঠিক বৃত্তাকার হয় না, সেজন্য সমীকরণ (7.15a) ব্যবহার না করিয়া, উহাকে কিঞ্চিৎ সংশোধন করিয়া, পরীক্ষায় ব্যবহার করা হয়।

মনে করা যাক্, D_{m+n} এবং D_n যথাক্রমে ($m+n$)-তম এবং n-তম অন্ধকার বা উজ্জ্বল বলয়ের ব্যাস। তাহা হইলে, সমীকরণ (7.15a) হইতে

$$\left.\begin{aligned} D^2_{m+n} &= 4\,(m+n)\,\lambda R \\ \text{এবং}\quad D^2_{m+n} &= 2\,[2(m+n)+1]\,\lambda R \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} \text{আবার,}\quad D^2_n &= 4n\lambda R \\ \text{এবং}\quad D^2_n &= 2\,(2n+1)\,\lambda R \end{aligned}\right\}$$

$\therefore$ অন্ধকার বলয়ের ক্ষেত্রে,

$$D^2_{m+n} - D^2_n = 4\,(m+n)\lambda R - 4n\lambda R$$
$$= 4m\lambda R \qquad \cdots \qquad (7.15b)$$

এবং, উজ্জ্বল বলয়ের ক্ষেত্রে,

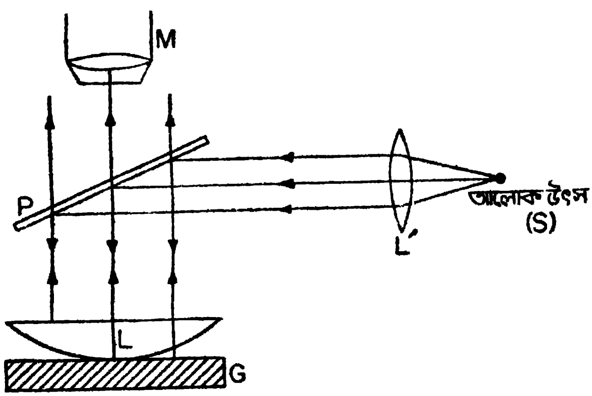
$$D^2_{m+n} - D^2_n = 2\,[2\,(m+n)+1]\,\lambda R - 2\,(2n+1)\,\lambda R$$
$$= 4m\,\lambda R \qquad \cdots \qquad (7.15c)$$

সুতরাং, $(m+n)$-তম এবং n-তম অন্ধকার বা উজ্জ্বল বলয়ের ব্যাস পরিমাপ করিয়া, ঐ দুই বলয়ের মধ্যে কতগুলি (m) বলয় আছে (অন্ধকার বা উজ্জ্বল) তাহা জানিলেই এবং λ-এর মান জানা থাকিলে, সমীকরণ (7.15b) অথবা (7.15c) হইতে লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধের মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

'নিউটন বলয়' যন্ত্র, অনুবীক্ষণ যন্ত্র, আলোকউৎস।

'নিউটন্ বলয়' যন্ত্রে একটি সমোত্তল লেন্স (L) থাকে, যাহার উত্তল তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় করিতে হইবে। সাধারণতঃ এই বক্রতা-ব্যাসার্ধের মান খুব বেশী হয়।



চিত্র 7.31 : নিউটন বলয় পর্যবেক্ষণ ব্যবস্থা

এই লেন্সের উত্তলদিকটি একটি সমতল কাচের প্লেটের (G) উপর রাখা হয় (চিত্র 7.31) একটি আলোকউৎসকে (সাধারণতঃ সোডিয়াম বাষ্প বাতি S) ঠিকমত একটি লেন্সের

(L') ফোকাসে রাখিয়া আলোকরশ্মিকে সমান্তরাল করা হয়। আর একটি কাচের পরিষ্কার প্লেটকে (P 45° কোণে এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে লেন্স L' হইতে আগত রশ্মি ঐ প্লেট হইতে প্রতিফলিত হইয়া, লেন্স ও প্লেটের সমন্বয়ের উপর লম্বভাবে আপতিত হয়। ঐ লম্বভাবে আপতিত রশ্মি, সমন্বয় হইতে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় প্লেট P-এর মধ্য দিয়া যায় এবং উহা একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্র M দ্বারা দেখা হয়। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়া দেখিলে ক্রমপর্যায়ে সাজানো অন্ধকার ও উজ্জ্বল 'নিউটন বলয়' পরিবর্ধিত আকারে দেখিতে পাওয়া যায়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) ভার্ণিয়ারযুক্ত মাইক্রোস্কোপটিকে প্রথমে লেভেলিং করিয়া উহার অক্ষকে উল্লম্ব করা হইল এবং উহাকে ফোকাসিং করিয়া উহার ভার্ণিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করা হইল।

(ii) লেন্স ও কাচের প্লেট দুইটিকে পরিষ্কার করিয়া যন্ত্রাবলীর বর্ণনায় প্রদত্ত ব্যবস্থানুযায়ী সমগ্র যন্ত্রটি এমনভাবে স্থাপন করা হইল যে, যেন যন্ত্রের সাহায্যে 'নিউটন বলয়' সুন্দরভাবে গঠিত হয়। মাইক্রোস্কোপকে ফোকাস্ করিয়া ঐ বলয়গুলি দেখা হইল।

(iii আলোকউৎস, লেন্স L' ও কাচের প্লেট G সামান্য ঘুরাইয়া ও সরাইয়া, বলয়গুলি সুস্পষ্ট ও সমভাবে উজ্জ্বল করা হইল।

(iv) মাইক্রোস্কোপের ক্রস্ওয়্যারকে প্রথমে বলয়গুলির কেন্দ্রস্থিত অন্ধকার বিন্দুর সহিত মিলানো হইল এবং ক্রস্ওয়্যারকে এমনভাবে স্থায়ীকরণ করা হইল যে যেন, ক্রস্ওয়্যারের উল্লম্ব বাহু বলয়গুলির সহিত স্পর্শক হিসাবে থাকে।

(v) মাইক্রোস্কোপকে এরপর কেন্দ্রস্থিত অন্ধকার বিন্দুর একপার্শ্বে সরাইয়া লইয়া যতদূর সম্ভব দূরে একটি উজ্জ্বল বলয়ের সহিত ক্রস্ওয়্যারকে স্পর্শকভাবে ফোকাস্ করা হইল। কেন্দ্র হইতে ঐ ফোকাসিত উজ্জ্বল বলয়ের সংখ্যা কত তাহাও গণনা করিয়া রাখা হইল। ফোকাসিত অবস্থায় মাইক্রোস্কোপের মূল স্কেলের ও ভার্ণিয়ারের পাঠ লওয়া হইল।

(vi) এরপর মাইক্রোস্কোপকে ক্রমশঃ বলয়ের কেন্দ্রের দিকে সরানো হইতে লাগিল এবং ক্রমানুসারে প্রত্যেকটি উজ্জ্বল বলয়ের সহিত ক্রস্ওয়্যারকে স্পর্শকভাবে রাখিয়া, প্রত্যেকটি বলয়ের জন্য মাইক্রোস্কোপের পাঠ লওয়া হইল। এইভাবে কেন্দ্র হইতে 2/3টি বলয় দূর পর্যন্ত, প্রতিটি বলয়ের জন্য পাঠ লওয়া হইল।

(vii) মাইক্রোস্কোপকে এরপর কেন্দ্রের অপরদিকে লইয়া 2/3টি বলয় বাদ দিয়া অনুরূপভাবে ক্রমশঃ বাইরের দিকে বলয়গুলির জন্য পর্যায়ক্রমে পাঠ লওয়া হইতে লাগিল এবং বলয়ের সংখ্যাও গণনা করিয়া রাখা হইল।

(viii) পুনরায় মাইক্রোস্কোপকে ঐ প্রান্ত হইতে ফিরাইয়া পিছনদিকে আনা হইতে লাগিল এবং সমগ্র পর্যবেক্ষণ ও পাঠগ্রহণ অনুরূপভাবে লইয়া লিপিবদ্ধ করা হইল।

(ix) এইভাবে বলয়গুলির ব্যাস (D) নির্ণয় করিয়া এবং নির্দিষ্ট একটি বলয়-

বলয়ের ব্যাসের (D) মান নির্ণয়

[প্রদত্ত বলয় সংখ্যাগুলি কাল্পনিক]

ফল (Results) : মাইক্রোস্কোপের ভার্ণিয়ার ধ্রুবকের মান নির্ণয়

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ... সেমি ভার্ণিয়ারের ঘরসংখ্যা = ...

ভার্ণিয়ার ধ্রুবকের মান = ... সেমি ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) = ... সেমি

সারণী—1

বলয়ের ক্রম সংখ্যা	পর্যবেক্ষণ	মাইক্রোস্কোপ স্কেলের পাঠ যখন উহার ক্রস্‌ওয়্যার বলয়ের বাম অংশকে স্পর্শ করে			মাইক্রোস্কোপ স্কেলের পাঠ যখন উহার ক্রস্‌ওয়্যার বলয়ের ডান অংশকে স্পর্শ করে			বলয়ের ব্যাস ($D = X_1 - X_2$) [সেমি]	বলয়ের গড় ব্যাস D (সেমি)
		মূলস্কেলের পাঠ (সেমি)	ভার্ণিয়ার পাঠ (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি) (X_1)	মূলস্কেলের পাঠ (সেমি)	ভার্ণিয়ার পাঠ (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি) (X_2)		
26-তম	বাম→ডাইনে ডান→বামে	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—(বাম) —(ডান)	—
25-তম	বাম→ডাইনে ডান→বামে	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—(বাম) —(ডান)	—
24-তম	বাম→ডাইনে ডান→বামে	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—(বাম) —(ডান)	—
ইত্যাদি — —									
6-তম	বাম→ডাইনে ডান→বামে	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—(বাম) —(ডান)	—
5-তম	বাম→ডাইনে ডান→বামে	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—(বাম) —(ডান)	—
4-তম	বাম→ডাইনে ডান→বামে	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—(বাম) —(ডান)	—

বক্রতা-ব্যাসার্ধের (R) মান নির্ণয়

সারণী-2

বলয়ের ক্রমসংখ্যা	বলয়ের ব্যাস (D) (সেমি)	বলয়ের ব্যাসের বর্গ (D^2 বর্গ সেমি)	বলয়গুলির সংখ্যার পার্থক্য (m) (প্রদত্তক্ষেত্রে)	প্রদত্ত পার্থক্যের জন্য ($D^2_{m+n} - D^2_n$) (বর্গ সেমি)	$D^2_{m+n} - D^2_n$ এর গড় মান (বর্গ সেমি)	লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধ $R = \frac{D^2_{m+n} - D^2_n}{4m\lambda}$ (সেমি)
26-তম	—	— (D^2_{m+n})	10			
25-তম	—	—	20	—		
24-তম	—	—	20	—		
ইত্যাদি —			—	—	—	—
6-তম	—	— (D^2_n)	10			
5-তম	—	—	20	—		
4-তম	—	—	20	—		

ব্যবধানের সংখ্যা (M) ঠিক করিয়া, সমীকরণ (7.15c) হইতে লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হইল।

হিসাব (Calculation):

ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) = ... সেমি

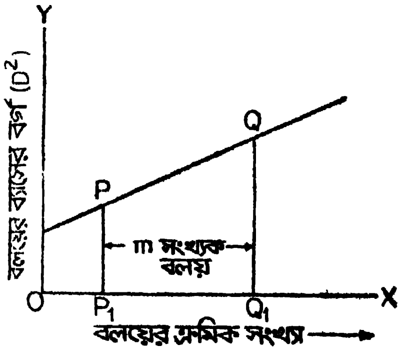
বলয়সংখ্যার পার্থক্য (M) = ... [এক্ষেত্রে 20]

$D^2m+n - D^2n$ = ... বর্গসেমি

$\therefore$ লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ $(R) = \dfrac{D^2m+n - D^2n}{4m\lambda}$ সেমি

লেখচিত্র হইতে R-এর মান নির্ণয়

বলয়গুলির ক্রমসংখ্যাকে একটি লেখচিত্রের x-অক্ষ বরাবর এবং ঐ বলয়ের ব্যাসের বর্গকে (D^2) y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিলে, প্রাপ্ত লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে (চিত্র 7.32)। ঐ সরলরেখার উপর যে কোন দুইটি বিন্দু (P ও Q) লইয়া তাহাদের কোটির মান হইতে D^2n ও D^2m+n-এর মান পাওয়া যাইবে। যদি ঐ দুইটি বিন্দুর (P ও Q) মধ্যে m-সংখ্যক বলয় থাকে ($m = P_1Q_1$) তাহা হইলে $\dfrac{D^2m+n - D^2n}{m}$ কে M ধরিলে,



চিত্র 7.32 : বলয় সংখ্যা ও বলয় (ব্যাস)$_2$ লেখচিত্র

সমীকরণ (7.15c) হইবে $R = M/4\lambda$। লেখচিত্র হইতে M-এর মনে বাহির করিলে, λ-এর মান জানা থাকিলে R-এর মান পাওয়া যাইবে।

সতর্কতা (Precautions):

(i) পরীক্ষাকালে মাইক্রোস্কোপ বা 'বলয়' যন্ত্রটি যেন কোনক্রমেই নড়িয়া না যায়।

(ii) মাইক্রোস্কোপের স্ক্রু সর্বদা একদিকে (বাম হইতে ডাইনে বা ডান হইতে বামে) যাইবার সময়ে একই দিকে ঘুরাইতে হইবে। দুইদিকে যদি একই পর্যবেক্ষণের সময়ে ঘুরানো হয়, তাহা হইলে পিছট ত্রুটি (back lash error) ঘটিতে পারে।

(iii) বলয়ের কেন্দ্রের নিকটবর্তী কয়েকটি বলয় ঠিক বৃত্তাকার হয় না। সেজন্য কয়েকটি বলয় (2/3 টি) ছাড়িয়া পাঠগ্রহণ সুরু করা উচিত।

(iv) যদি পর্যায়ক্রমে প্রত্যেকটি বলয়ের জন্য পাঠগ্রহণে অসুবিধা হয়, তাহা হইলে

কয়েকটি নির্দিষ্ট ধাপ অন্তর (কয়েকটিকে ছাড়িয়া দিয়া) বলয়সংখ্যার পাঠ লওয়া যাইতে পারে, যেমন 26, 25, 24, 23,...16, 15, 14, 13,...6, 5, 4 ইত্যাদি

(v) লেন্স ও কাচের প্লেট এমনভাবে স্থাপন করা প্রয়োজন যাহাতে কেন্দ্রে অন্ধকার বিন্দু দেখা যায়।

(vi এই পরীক্ষার সমস্ত সাফল্য নির্ভর করে, লেন্সের উপর আপতিত আলোক-রশ্মির উজ্জ্বলতার উপর। সেজন্য আলোকউৎস, কাচের প্লেট (P) লেন্স ($L'L'$) ইত্যাদি যথাযথভাবে স্থাপন করা বিশেষ প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ আলোর ব্যতিচার কাহাকে বলে এবং বিবর্তনের সহিত উহার পার্থক্য কি ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ সুসঙ্গত উৎস (coherent source) বলিতে কি বোঝায় ?

উঃ যদি দুইটি আলোক তরঙ্গের মধ্যেকার দশার (phase) পার্থক্য সর্বদা একই থাকে, তাহা হইলে ঐ তরঙ্গদ্বয়কে সুসঙ্গত বলা হয়। একই উৎস হইতে উদ্ভূত আলোকরশ্মিই কেবলমাত্র সুসঙ্গত হইতে পারে।

প্রঃ একতরঙ্গবিশিষ্ট আলোক না লইয়া, সাদা আলোর সাহায্যে এই পরীক্ষা করিলে কি দেখা যাইবে ?

উঃ সাদা আলোতে কয়েকটি রঙীন বলয় দেখা যাইবে।

প্রঃ বলয়গুলি বৃত্তাকার কেন ?

উঃ যেহেতু কেন্দ্র হইতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে মাধ্যমের বেধ সমান, সেজন্য ঐ নির্দিষ্ট দূরত্বে গঠিত বলয় বৃত্তাকার হয় কিন্তু যদি কাচের প্লেটটি মসৃণ ও সমতল না হয়, তাহা হইলে বলয়গুলি উপবৃত্তীয় হইবে।

প্রঃ যে কোন দুইটি সন্নিহিত বলয়ের ব্যবধান কি সমান ?

উঃ না, কেন্দ্র হইতে বলয়গুলি যত দূরে হয়, তাহাদের মধ্যেকার ব্যবধান ততই কমিয়া আসে।

প্রঃ বলয়গুলি কোন্ স্থানে গঠিত হয় ?

উঃ উহারা লেন্স ও প্লেটের মধ্যকার মাধ্যমের ভিতর (বায়ুতে) গঠিত হয়।

প্রঃ বৃহৎ বক্রতা-ব্যাসার্ধবিশিষ্ট লেন্স এক্ষেত্রে কেন ব্যবহার করা হয় ?

উঃ প্রথমতঃ, লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ যত বেশী হইবে, বলয়ের ব্যাসও তত বেশী হইবে এবং পরিমাপে ভুলের পরিমাণও কম হইবে। দ্বিতীয়তঃ, বক্রতা-ব্যাসার্ধ বেশী হইলে, বায়ুমাধ্যমে প্রতিফলন ও প্রতিসরণ কোণ খুব কম হয় যাহা মূলনীতিতে ধরা হইয়াছে।

প্রঃ বলয়গুলির ব্যাসের পরিমাণ কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ উহারা নির্ভর করে, (ক) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর, (খ) মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের উপর, (গ) লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধের উপর।

প্রঃ এই পদ্ধতিতে বায়ুর পরিবর্তে সেখানে কোন তরল মাধ্যম থাকিলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে, বলয়গুলির ব্যাস হ্রাস পাইবে।

প্রঃ ঐ তরলের প্রতিসরাঙ্ক কি নির্ণয় করা যাইবে ?

উঃ যাইবে। মূলনীতিতে (সমীকরণ 7.15a) μ-এর মান 1 না ধরিয়া, তাহা সমীকরণে রাখিয়া দিলে এবং একবার বায়ু মাধ্যমে এবং আর একবার একই ব্যবস্থায়, তরল মাধ্যমে বলয়ের ব্যাস মাপিয়া, μ-এর মান পাওয়া যাইবে।

প্রঃ লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ একটি স্ফেরোমিটারের সাহায্যেও মাপা যায়। কিন্তু সেই পদ্ধতি দ্বারা এই লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ কি মাপা যাইবে ?

উঃ নীতিগতভাবে পারা যায় কিন্তু বাস্তব ক্ষেত্রে তাহা সম্ভব নয়। কারণ, এক্ষেত্রে যেহেতু লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ খুব বেশী (প্রায় 80 বা 90 সেমি) সেজন্য স্ফেরোমিটারের সাহায্যে পরিমাপ করিলে, উহার মধ্যকার পায়ার উত্তোলন খুব কম হইবে এবং পরিমাপে বিশেষ ভুল ঘটিবে।

প্রঃ এই 'নিউটন বলয়'-এর কোন ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে কি ?

উঃ এই পদ্ধতির সাহায্যে কোন একটি কাচের প্লেটের মসৃণতা ও সমতা নির্ণয় করা যায়।

7·16 চিনির দ্রবণের গাঢ়তার সহিত সমবর্তন তলের ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয় এবং একটি অজানা গাঢ়তার দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় (To study the variation of Plane of Polarisation of a sugar solution with its concentration and hence to determine the concentration of an unknown sugar solution)

মূলনীতি (Theory) :

যখন λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন আলো, l সেমি দৈর্ঘ্যের কোন দ্রবণের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত হয় এবং ঐ দ্রবণে যদি প্রতি ঘনসেণ্টিমিটারে m গ্রাম সক্রিয় পদার্থ থাকে যাহা ঐ আলোকরশ্মির সমবর্তন তল ঘুরাইতে পারে, তাহা হইলে ঐ আলোকরশ্মির সমবর্তন-তল যদি θ ডিগ্রী কোণ ঘুরিয়া যায়, তখন,

$$\theta = \frac{S\,m\,l}{10} \quad \cdots \ (7.16a)$$ (যখন দ্রবণের উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা $t°$ সে-এ থাকে)

এখানে, S-কে পদার্থের আপেক্ষিক ঘূর্ণন কোণ (Specific rotation) বলে, যাহা দ্রবণের উষ্ণতা $t°$ সে ও আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ)-এর উপর নির্ভর করে।

সুতরাং সংজ্ঞানুযায়ী, এক গ্রাম সক্রিয় পদার্থকে কোন নিষ্ক্রিয় তরলে দ্রবীভূত করিয়া ঐ দ্রবণের 10 সেমি (1 ডেসিমিটার) দৈর্ঘ্যের মধ্য দিয়া সমবর্তিত আলো (polarised light) অতিক্রম করাইলে, ঐ আলোর সমবর্তন-তল যে পরিমাণ ঘুরিয়া যাইবে, তাহাকেই ঐ সক্রিয় পদার্থের আপেক্ষিক ঘূর্ণন কোণ বলে। এখন যদি 100 ঘন সেমি দ্রবণের মধ্যে C গ্রাম সক্রিয় পদার্থ দ্রবীভূত থাকে, তাহা হইলে,

$$m = \frac{c}{100} \text{ গ্রাম/সিসি}$$

সুতরাং সমীকরণ (7.16a) হইবে

$$\phi = \frac{S\,c\,l}{1000} \quad \cdots \ (7.16b)$$

এখন, কতকগুলি জানা গাঢ়তার দ্রবণের সাহায্যে পোলারিমিটারের দ্বারা ϕ-এর

মান নির্ণয় করিয়া, ϕ-বনাম c-এর লেখচিত্র অঙ্কন করিলে উহা একটি সরলরেখা হইবে। একটি অজানা গাঢ়তার দ্রবণের জন্য সমবর্তন-তলের ঘূর্ণনের পরিমাণ (ϕ') নির্ণয় করিয়া, ঐ লেখচিত্র হইতে উহার গাঢ়তার মান ($Cx\%$) জানা যাইবে।

আবার, ঐ লেখচিত্র হইতেই সমীকরণ (7.16b)-এর সাহায্যে দ্রবণের আপেক্ষিক ঘূর্ণন কোণ (S_t-এর মানও পাওয়া যাইবে।

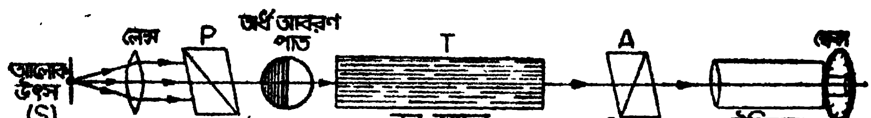
যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পোলারিমিটার ; আলোক উৎস ; চিনির দ্রবণ ; অজানা গাঢ়তার চিনির দ্রবণ।

পোলারিমিটার :

ইহা একটি যন্ত্র যাহার সাহায্যে আলোকরশ্মিকে সমবর্তন করা যায় এবং উহা বিশ্লেষণও করা যায়। ইহাতে একটি সমবর্তন-বিশ্লেষক (analyser) ও একটি সমবর্তক (polariser) থাকে (চিত্র 7.33)। সমবর্তক হিসাবে সাধারণতঃ 'নিকল্ প্রিজম্' (Nicol Prism) থাকে এবং সমবর্তন হইবার পর যখন আলো বিশ্লেষকের মধ্য দিয়া দেখা হয়, তখন যদি সমবর্তক ও বিশ্লেষক ক্রসিত (crossed) অবস্থায় থাকে, তাহা হইলে দৃষ্ট আলোর ঔজ্জ্বল্য সর্বাপেক্ষা কম (বা কালো) দেখায়।

S একটি আলোক উৎস (একবর্ণী) যাহা লেন্স L-এর ফোকাস্‌বিন্দুতে আছে। P একটি সমবর্তক যাহা ঐ আলোকে সমবর্তিত করে। ঐ আলো একটি অর্ধ-আবরণ পাতের (half-shade plate) মধ্য দিয়া আসে এবং T টিউবে রক্ষিত দ্রবণের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিয়া A বিশ্লেষক দ্বারা বিশ্লেষিত হয়। ইহার পর ঐ আলোকে একটি টেলিস্কোপের সাহায্যে দেখা হয়। ঐ বিশ্লেষক ও টেলিস্কোপকে উহাদের



চিত্র 7.33 : পোলারিমিটার

নিজ অক্ষ (অনুভূমিক) বরাবর ঘুরানো যায় এবং ঐ ঘূর্ণনের পরিমাণ একটি বৃত্তীয় স্কেল ও ভার্ণিয়ারের সাহায্যে পরিমাপ করা যায়। পরিক্ষাধীন দ্রবণকে একটি লম্বা কাচের টিউবের মধ্যে রাখিয়া বিশ্লেষক ও সমবর্তকের মাঝখানে রাখা হয় এবং এই টিউবের অক্ষ বিশ্লেষক ও সমবর্তক রাখা টিউবের অনুভূমিক অক্ষের সহিত মিলিয়া থাকে. অনেক ক্ষেত্রে বিশ্লেষকের মধ্য দিয়া দেখিলে, আলোকে উত্তল অর্ধে ও কেন্দ্রস্থলে একইরকম ঔজ্জ্বল্যের দেখায়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে বিশ্লেষকের সহিত সংশ্লিষ্ট বৃত্তীয় স্কেলের ক্ষুদ্রতম পাঠ ও ভার্ণিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করা হইল।

ii) ইহার পর কাচের নলের দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে তিনবার নির্ণয় করিয়া উহার গড় দৈর্ঘ্য (l) লওয়া হইল। ঐ নলকে পরিষ্কার করিয়া এবং শুষ্ক করিয়া, পোলারিমিটারের মধ্যে যথাস্থানে রাখা হইল। উহার দুইপ্রান্ত যেন ছোট কাচের প্লেট দুইটি দৃঢ়ভাবে এবং সঠিকভাবে আটকানো থাকে। নল, সমবর্তক ও বিশ্লেষক প্রভৃতির অক্ষরেখাগুলিকে অনুভূমিক ও একই সরলরেখা বরাবর রাখা হইল।

(iii) সমবর্তকের দৃষ্টিক্ষেত্রের উপর অভিনেত্র লেন্সকে ফোকাস্ করিয়া দেখা হইল। দৃষ্টিক্ষেত্রে বিভেদকারী কয়েকটি রেখা দেখা যাইবে, যাহার ফলে, সমগ্র দৃষ্টিক্ষেত্র তিনটি ভাগে বিভক্ত হিসাবে দেখাইবে। বিশ্লেষককে এরপর ঘুরানো হইতে লাগিল যাহাতে হয় সমগ্র দৃষ্টিক্ষেত্রটি অন্ধকার দেখাইবে অথবা দৃষ্টিক্ষেত্রের দুইপ্রান্তের এবং মধ্যকার অংশের ঔজ্জ্বল্য প্রায় সমান দেখাইবে। এই অবস্থায় বৃত্তীয় স্কেলের পাঠ ও ভার্ণিয়ার পাঠ লওয়া হইল। ইহাই হইবে প্রাথমিক পাঠ, যখন কাচের নল দ্রবণবিহীন অবস্থায় থাকে।

(iv) কিছু পরিমাণ চিনি গুঁড়া করিয়া উহার 15 গ্রাম মত লইয়া একটি মাপন-চোঙের ভিতর প্রায় 80 সিসি জল লইয়া, তাহাতে দ্রবীভূত করা হইল। চিনি সম্পূর্ণরূপে দ্রবীভূত হইলে, ঐ চোঙে আরো 20 সিসি জল ঢালিয়া মোট দ্রবণের পরিমাণ 100 সিসি করা হইল। এই অবস্থায়, 15 গ্রাম চিনি, 100 সিসি জলে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে এবং সেজন্য চিনির গাঢ়তা 15%, উহাই প্রাথমিক দ্রবণ হিসাবে লইয়া কার্য সুরু করিতে হইবে।

(v) এই দ্রবণের অর্ধেক পরিমাণ সরাইয়া রাখিয়া বাকী অংশ হইতে কিছু লইয়া পরীক্ষাধীন কাচের নলের ভিতর ঢালিয়া ঐ নল সম্পূর্ণরূপে ভর্তি করা হইল এবং নলের দুই প্রান্তে পূর্বের ন্যায় কাচের পাতদ্বারা আটকাইয়া দেওয়া হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, কাচের নলের মধ্যে যেন বায়ু না থাকে।

(vi) নলটিকে পোলারিমিটারে যথাস্থানে রাখিয়া পূর্বের ন্যায় দৃষ্টিক্ষেত্রের দিকে অভিনেত্র লেন্সের মধ্য দিয়া দেখিয়া, বিশ্লেষককে ঘুরাইয়া ঠিক পূর্বের ন্যায় সম-উজ্জ্বল বা অন্ধকার দৃষ্টিক্ষেত্রের অবস্থানে বিশ্লেষককে আনা হইল, এবং বৃত্তীয় স্কেল ও ভার্ণিয়ার হইতে সেই পাঠ লওয়া হইল।

(vii) এরপর দ্রবণের গাঢ়তার মান পরিবর্তন করিতে হইবে। যে দ্রবণটুকু প্রথমে পৃথকভাবে সরাইয়া রাখা হইয়াছিল, তাহা হইতে কিছু পরিমাণ (মনে করা যাক্ x সিসি) লইয়া, যদি নতুন গাঢ়তা (C_1%) করিতে হয়, এবং যদি পুরাতন গাঢ়তা যদি C% থাকে (যাহা 15% ছিল), তাহা যে পরিমাণ (y সিসি) জল যোগ করিলে, ঐ C% গাঢ়তা C_1% গাঢ়তায় রূপান্তরিত হইবে, তাহার পরিমাণ হইবে

$$y = \frac{C - C_1}{C_1} \times x \text{ সিসি}$$

অর্থাৎ, যদি 50 সিসি পরিমাণ 15% গাঢ়তা লইয়া, উহাকে $12\frac{1}{2}$% গাঢ়তায় রূপান্তরিত

করিতে হয়, তাহা হইলে, ঐ 15% গাঢ়তার 50 সিসি দ্রবণে জল যোগ করিতে হইবে।

$$y = \frac{15-12.5}{12.5} \times 50 = 10 \text{ সিসি}$$

(viii) এইরূপে পর্যায়ক্রমে 15%, 12·5%, 10%, 7·5% ও 5% দ্রবণ তৈয়ারী করিয়া, প্রতিক্ষেত্রেই দৃষ্টিক্ষেত্রকে পূর্বের ন্যায় আনিয়া, প্রতিবারের জন্য বৃত্তীয় স্কেলের ভার্ণিয়ার সহ পাঠ লওয়া হইল এবং এই পাঠ হইতে প্রাথমিক পাঠ বিয়োগ করিলে, সংশ্লিষ্ট দ্রবণের জন্য সমবর্তন তলের ঘূর্ণনের পরিমাণ পাওয়া যাইবে।

(ix) একটি লেখচিত্র কাগজে, x-অক্ষ বরাবর গাঢ়তা (%) এবং y-অক্ষ বরাবর সমবর্তন-তলের ঘূর্ণন (ডিগ্রীতে) স্থাপন করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে, উহা একটি সরলরেখা হইবে যাহা মূলকেন্দ্র দিয়া যাইবে।

(x) একটি অজানা গাঢ়ত্বের দ্রবণ লইয়া পূর্বের ন্যায় তাহার জন্য সমবর্তন তলের ঘূর্ণনের মান নির্ণয় করা হইল এবং ঐ মানটি অঙ্কিত সরলরেখার উপর স্থাপন করিয়া তাহার সংশ্লিষ্ট গাঢ়তা লেখচিত্র হইতে পাওয়া যায়। আবার লেখচিত্র হইতে, যে কোন একটি বিন্দু লইয়া, তাহার ভুজ ও কোটির মান হইতে গাঢ়তা ও সমবর্তন-তলের ঘূর্ণনের মান লইয়া, সমীকরণ (7.1ob)-তে বসাইলে দ্রবণের আপেক্ষিক ঘূর্ণনের মানও পাওয়া যাইবে।

ফল (**Results**) :

ভার্ণিয়ারদ্বয়ের ধ্রুবকের মান নির্ণয়

বৃত্তীয় স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ... ডিগ্রী

ভার্ণিয়ারদ্বয়ের মোট সংখ্যা = ...

ভার্ণিয়ারদ্বয়ের ধ্রুবকের মান = ... ডিগ্রী

(সাধারণতঃ দুইটি ভার্ণিয়ারেরই ধ্রুবকের মান একই হয়)

নলের দৈর্ঘ্য (l) নির্ণয়

নলের দৈর্ঘ্য : $l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$ ... ... সেমি

শূন্য নলের জন্য স্কেল ও ভার্ণিয়ারের পাঠ

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রথম ভার্ণিয়ারের পাঠ ডিগ্রীতে				দ্বিতীয় ভার্ণিয়ারের পাঠ ডিগ্রীতে			
	স্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ারের পাঠ	মোট পাঠ (Xo)	গড় পাঠ (Xo)	স্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ারের পাঠ	মোট পাঠ (Yo)	গড় পাঠ (Yo)
1 ($l \rightarrow r$)	—	—	—	— ডিগ্রী	—	—	—	— ডিগ্রী
2 ($r \rightarrow l$)	—	—	—		—	—	—	
3 ($l \rightarrow r$)	—	—	—		—	—	—	
4 ($r \rightarrow l$)	—	—	—		—	—	—	

দ্রবণের গাঢ়তা পরিবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় যে জল যোগ করিতে হয়, তাহা নির্ণয় করিবার তালিকা

সারণী—2

পরিবর্তনের ক্রম	অব্যাবহৃত দ্রবণের গৃহীত পরিমাণ (x সেমি)	গৃহীত দ্রবণের বর্তমান গাঢ়তা	দ্রবণকে যে নতুন গাঢ়তায় পরিবর্তন করিতে হইবে	যে পরিমাণ বিশুদ্ধ জল (y সেমি) এজন্য অব্যবহৃত দ্রবণে যোগ করিতে হইবে ($y=\frac{C-C_1}{C_1}\times x$ সিসি)
1	—(x_1)	C% (15%)	C_1% (12·5%)	$y_1=\frac{C-C_1}{C_1}x_1$
2	—x_2)	C_1% (12·5%)	C_2% (10%)	$y_2=\frac{C_1-C_2}{C_2}x_2$
3	—x_3)	C_2% (10%)	C_3% (7·5%)	$y_3=\frac{C_2-C_3}{C_3}x_3$
4	—(x_4)	C_3% (7·5%)	C_4% (5%)	$y_4=\frac{C_3-C_4}{C_4}x_4$
5	—(x_5)	C_4% (5%)	C_5% (2·5%)	$y_5=\frac{C_4-C_5}{C_5}x_5$

জানা গাঢ়তার দ্রবণ ও অজানা গাঢ়তার দ্রবণের জন্য সমবর্তন তলের ঘূর্ণনের মান নির্ণয়

সারণী—3

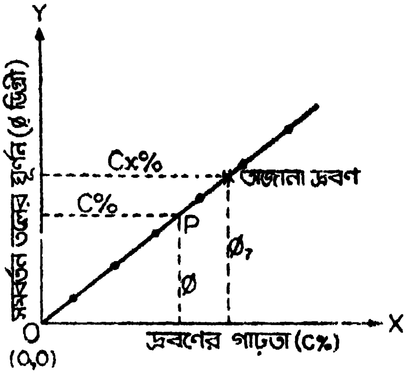
পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দ্রবণের গাঢ়তা ($C\%$)	ভার্ণিয়ার	স্কেল ও ভার্ণিয়ারের পাঠ ডিগ্রীতে: মূলস্কেলের পাঠ	ভার্ণিয়ার পাঠ	মোট পাঠ (X অথবা Y)	গড় পাঠ (X বা Y)	ভার্ণিয়ারের ঘূর্ণন (ডিগ্রীতে)	ভার্ণিয়ারের গড় ঘূর্ণন (ϕ) (ডিগ্রীতে)
1	$C\% = 15\%$	প্রথম $l \to r$ $r \to l$	— —	— —	— —	— (X_1)	$\phi'_1 = (X_1 \sim Xo)$	$\phi_1 = \frac{\phi'_1 + \phi''_1}{2}$
		দ্বিতীয় $l \to r$ $r \to l$	— —	— —	— —	— (Y_1)	$\phi''_1 = (Y_1 \sim Yo)$	
2	$C\% = 12 \cdot 5\%$	প্রথম $l \to r$ $r \to l$	— —	— —	— —	— (X_2)	$\phi'_2 = (X_2 \sim Xo)$	$\phi_2 = \frac{\phi'_2 + \phi''_2}{2}$
		দ্বিতীয় $l \to r$ $r \to l$	— —	— —	— —	— (Y_2)	$\phi''_2 = (Y_2 \sim Yo)$	

ইত্যাদি—ইত্যাদি—

6	$C_3\%$	প্রথম $l \rightarrow r$ $r \rightarrow l$	— —	— —	— —	— $(\bar{X}_6)$	$\phi'_6 = (\bar{X}_6 \sim Xo)$	$\phi_6 = \frac{\phi'_6 + \phi''_6}{2}$
	$= 2{\cdot}5\%$	দ্বিতীয় $l \rightarrow r$ $r \rightarrow l$	— —	— —	— —	— $(\bar{Y}_6)$	$\phi''_6 = (\bar{Y}_6 \sim Yo)$	
7	$Cx\%$	প্রথম $l \rightarrow r$ $r \rightarrow l$	— —	— —	— —	— $(\bar{X}_7)$	$\phi'_7 = (\bar{X}_7 \sim Xo)$	$\phi_7 = \frac{\phi'_7 + \phi''_7}{2}$
	(অজানা গাঢ়তা)	দ্বিতীয় $l \rightarrow r$ $r \rightarrow l$	— —	— —	— —	— $(\bar{Y}_7)$	$\phi''_7 = (\bar{Y}_7 \sim Yo)$	

লেখচিত্র অঙ্কন

লেখচিত্র কাগজে x-অক্ষ বরাবর দ্রবণের গাঢ়তা ($C\%$) এবং y-অক্ষ বরাবর সমবর্তন-তলের ঘূর্ণন (ϕ) ডিগ্রীতে প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। উহা সরলরেখা হইবে এবং মূলবিন্দু দিয়া যাইবে (চিত্র 7.34)। এই সরলরেখার উপর অজানা গাঢ়ত্বের দ্রবণের জন্য ঘূর্ণনের মান (ϕ_1) হইতে উহার গাঢ়ত্ব ($Cx\%$) নির্ণয় করা যাইবে এবং যে কোন একটি বিন্দু সরলরেখা হইতে লইয়া, তাহার জন্য C ও ϕ-এর মান সমীকরণ (7.16 b)-এ বসাইলে, দ্রবণের আপেক্ষিক ঘূর্ণনের মান পাওয়া যাইবে।



চিত্র 7.34 : (C— ϕ এর লেখচিত্র)

হিসাব (Calculation) :

লেখচিত্র হইতে অজানা গাঢ়ত্বের দ্রবণের জন্য সমবর্তন-তলের ঘূর্ণনের পরিমাণ (ϕ_1)-এর জন্য গাঢ়ত্বের পরিমাণ ($Cx\%$) পাওয়া যায়। আবার যে কোন একটি বিন্দু P লেখচিত্রের উপর লইয়া, ঐ বিন্দুর জন্য ϕ ও $C\%$-এর মান লেখচিত্র হইতে নির্ণয় করিয়া সমীকরণ (7.16b)-তে বসাইয়া পাওয়া যায়।

$$S = \frac{\phi}{C} \times \frac{1000}{l}$$

যাহা দ্রবণের আপেক্ষিক ঘূর্ণনের মান দেয়।

সুতরাং অজানা গাঢ়ত্বের দ্রবণের গাঢ়ত্ব= … %

এবং দ্রবণের ($t°$ সে তাপমাত্রায়) আপেক্ষিক ঘূর্ণনের মান= … ডিগ্রী

সতর্কতা (Precautions) :

(i) কাচের নলে দ্রবণ ঢালিবার পূর্বে বিশুদ্ধ জল দ্বারা উহা ধুইয়া লওয়া প্রয়োজন।

(ii) খালি নলের জন্য পাঠ না লইয়া, বিশুদ্ধ জলদ্বারা নলটি পূর্ণ করিয়া প্রাথমিক পাঠ (X_0 বা Y_0) লওয়া যাইতে পারে।

(iii) জলের উষ্ণতা পরীক্ষার পূর্বে ও পরে দেখিয়া গড় উষ্ণতার পাঠ লওয়া প্রয়োজন, কারণ আপেক্ষিক ঘূর্ণনের মান উষ্ণতার উপর বিশেষভাবে নির্ভর করে।

(iv) কাচের নলে যেন কোন অবস্থাতেই বায়ু-বুদ্‌বুদ্‌ না থাকে।

(v) অর্ধ আবরণ পাতের জন্য দৃষ্টিক্ষেত্রের উভয় অর্ধে যেন ঔজ্জ্বল্য যথাসম্ভব সমান রাখিতে চেষ্টা করা যায়। সেজন্য একবার বাম হইতে ডানদিকে এবং আবার ডান হইতে বামদিকে অভিনেত্র লেন্সকে ঘুরাইয়া পাঠ লওয়া প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ সমবর্তন, সমবর্তন-তল, যুগ্ম প্রতিসরণ, আলোকীয় অক্ষ, ডানবর্তী ও বামাবর্তী ঘূর্ণনক্ষম পদার্থ বলিতে কি বুঝ ?

উঃ [আলোকবিজ্ঞানের যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য ।]

প্রঃ সমবর্তিত আলো কয়প্রকার হয় ?

উঃ তিনপ্রকারের সমবর্তিত আলো হয় : (ক) সমতল সমবর্তিত, (খ) উপবৃত্ত সমবর্তিত এবং (গ) বৃত্ত সমবর্তিত প্রকৃতির ।

প্রঃ আলোর সমবর্তন হইতে আলোকপ্রকৃতির সম্বন্ধে কি জানা যায় ?

উঃ সমবর্তন প্রমাণ করে যে, আলোকতরঙ্গ তির্যকশ্রেণীর

প্রঃ সাধারণ ও অসাধারণ রশ্মি বলিতে কি বোঝায় ?

উঃ দ্বিপ্রতিসরাঙ্কী কেলাসের মধ্য দিয়া আগত একটি রশ্মি প্রতিসারণের সূত্র মানিয়া চলে (সাধারণ রশ্মি, অপর রশ্মিটি তাহা মানিয়া চলে না (অসাধারণ রশ্মি) ।

প্রঃ 'নিকল প্রিজম্'-এর গঠনপ্রক্রিয়া কিরূপ ?

উঃ [যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য ।]

প্রঃ চিনি ব্যতীত অপর কোন দ্রবণ কি সমবর্তন-তল ঘূর্ণনে সক্ষম ?

উঃ টারটারিক অ্যাসিড, কোয়ার্টজ কেলাস ইত্যাদি ঐরূপ ঘূর্ণনে সক্ষম ।

প্রঃ চিনির দ্রবণ কিরূপ সক্রিয় পদার্থ ?

উঃ উহা দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণনক্ষম পদার্থ ।

প্রঃ আপেক্ষিক ঘূর্ণন কি কোন পদার্থের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট ?

উঃ না, উহা উষ্ণতা ও আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে । দ্রবণের ক্ষেত্রে উহা কিঞ্চিৎ পরিমাণে দ্রাবকের ধর্ম ও দ্রবণের গাঢ়তার উপরও নির্ভর করে ।

প্রঃ সোডিয়াম আলোর পরিবর্তে সাদা আলোর সাহায্যে কি এই পরীক্ষা করা যাইতে পারে ?

উঃ পারে, তবে সেক্ষেত্রে অর্ধ-আবরণ পাতের পরিবর্তে 'বাইকোয়ার্টজ' স্থাপন করিতে হইবে, যাহার দ্বারা অতি সূক্ষ্মরূপে হলুদ বর্ণের আলোর ঘূর্ণন পরিমাপ করা যায় ।

অষ্টম অধ্যায়

বৈদ্যুতিক পরীক্ষাসংক্রান্ত কয়েকটি যন্ত্রাবলীর বিবরণ

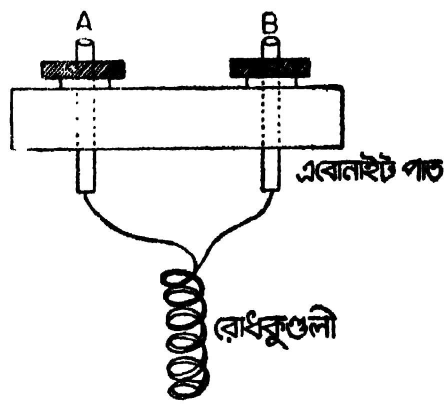
(Some accessories connected with electrical experiments)

8 1 রোধ ও তাহার বিভিন্ন প্রকার (Resistances and their different types)

যে কোন বৈদ্যুতিক বর্তনীতে পরীক্ষাকালে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বাড়ানোর বা কমানোর প্রয়োজন হয় এবং ঐ মাত্রা কমাইবার বা বাড়াইবার জন্য বর্তনীতে রোধ ব্যবহার করিতে হয়। রোধ বাড়াইলে প্রবাহমাত্রা কমে এবং রোধ কমাইলে প্রবাহমাত্রা বাড়ে। সাধারণতঃ বর্তনীতে পরিবর্তনীয় (variable) রোধ যোগ করিতে হয়, যাহা প্রয়োজনমত বাড়ানো বা কমানো যায়। আবার কোন কোন ক্ষেত্রে প্রয়োজনে বর্তনীতে নির্দিষ্ট মাত্রার (fixed) রোধও ব্যবহার করিতে হয়। এই সর্বপ্রকার রোধের সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল।

(ক) রোধ কুণ্ডলী (Resistance coil)

একটি কুণ্ডলী যাহার রোধ নির্দিষ্ট মানের, তাহা প্রায়শই বর্তনীতে ব্যবহারের প্রয়োজন হয়। ইহাকে 'নির্দিষ্ট-রোধ কুণ্ডলী' (fixed resistance coil) বলে। দুইটি পিতলের স্ক্রু (A ও B) একটি এবোনাইট-এর পাতের উপর লাগানো থাকে (চিত্র 8.1)। এক টুকরা এনামেলড্ তারকে (যাহার রোধ নির্দিষ্ট) দুইগাছা করিয়া জড়াইয়া (বিপরীতভাবে), তাহার প্রান্তদ্বয়কে ঐ দুইটি স্ক্রু-এর সহিত প্লাগ-এর দ্বারা আটকানো থাকে। এইভাবে বিপরীতমুখী করিয়া জড়াইলে, তারের মধ্যে 'স্বাবেশ' জনিত (self-induction) ফল কম হয়। তারটি মোটা ও স্বল্পদৈর্ঘ্যের হইলে, রোধ কম হয়।

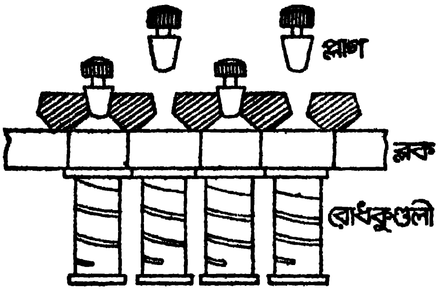


চিত্র 8.1 : নির্দিষ্ট রোধকুণ্ডলী

সাধারণতঃ রোধ কুণ্ডলীতে, ম্যাঙ্গানিন তার (সংকর-ধাতু—ম্যাঙ্গানিজ 12%, তামা 84% ও নিকেল 4%) ব্যবহৃত হয়। ইহার আপেক্ষিক রোধাঙ্ক খুব বেশী ও রোধ-তাপাঙ্ক প্রায় শূন্য। সেজন্য ইহা দ্বারা গঠিত রোধ কুণ্ডলীর রোধ প্রায় সব উষ্ণতায় সমান থাকে।

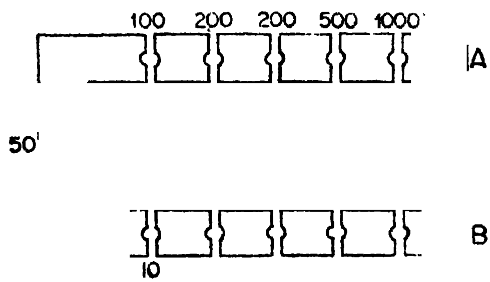
(খ) রোধ বাক্স (Resistance box)

ইহা একটি কাঠের বাক্স যাহাতে বিভিন্ন মানের রোধ শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করা থাকে। উহাদের যে কোন একটি বা একসঙ্গে অনেকগুলিকে কোন প্রবাহবর্তনীতে যোগ করা যাইতে পারে। ইহার মধ্যে যে বিভিন্ন রোধগুলি থাকে, তাহারা প্রত্যেকে উপরিউল্লিখিত রোধ কুণ্ডলীর মতই তৈয়ারী করা থাকে। কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুইটি পিতলের ব্লকের সহিত লাগানো থাকে। এই ব্লকগুলি পাশাপাশি, বাক্সের উপরতলে থাকে এবং প্রতিটি ব্লকের মধ্যবর্তী অংশে ফাঁক থাকে (চিত্র 8.2)। এই ফাঁকগুলিকে এবোনাইটের মাথাযুক্ত পিতলের প্লাগের দ্বারা বন্ধ করা যায়। যখন দুইটি সন্নিহিত ব্লকের মধ্যকার ফাঁকটি প্লাগ দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়, তখন প্রবাহ ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যাওয়ার পরিবর্তে সোজা প্লাগের মাধ্যমে ব্লকের মধ্য দিয়া চলিয়া যায় যাহার রোধ প্রায় শূন্য। সেজন্য যখন দুইটি ব্লকের মধ্যে প্লাগ লাগানো থাকে তখন ঐ দুই ব্লকের মধ্যকার রক্ষিত কুণ্ডলীর রোধ কার্যকরী হয় না অর্থাৎ প্রযুক্ত রোধের মান শূন্য, কিন্তু যখন কোন দুইটি ব্লকের মধ্যকার প্লাগ তুলিয়া লওয়া হয়, তখন প্রবাহ এক ব্লক হইতে অন্য ব্লকে, ঐ কুণ্ডলীর মাধ্যমে প্রবাহিত হয়, অর্থাৎ ঐ কুণ্ডলীর নির্দিষ্ট রোধ প্রবাহবর্তনীতে স্থাপিত হয়।



চিত্র 8.2 : রোধ বাক্স

এইভাবে যে প্লাগগুলিকে তুলিয়া রাখা হইবে, সেই প্লাগসংযুক্ত দুইটি সন্নিহিত ব্লকের মধ্যকার রোধ বর্তনীতে কার্যকরী হয়। এইভাবে একাধিক প্লাগ তুলিয়া লইয়া একাধিক রোধকে শ্রেণী-সমন্বয়ে বর্তনীতে প্রয়োগ করা যায়। চিত্র 8.3 এ একটি রোধ বাক্সের সম্ভাব্য আয়োজন দেখানো হইয়াছে। A ও B দুইটি স্ক্রু যাহাদের সহিত বর্তনীর সংযোগ করা হয়। যে কোন সন্নিহিত দুইটির মধ্যকার প্লাগ তুলিয়া লইলে, ঐ দুই প্লাগসন্নিহিত রোধের মান কার্যকরী হয়। যদি সমস্ত প্লাগগুলি আটকাইয়া রাখা হয়, তাহা হইলে মোট রোধ শূন্য, পক্ষান্তের যদি সমস্ত প্লাগ তুলিয়া রাখা হয়, তাহা হইলে বর্তনীতে মোট রোধ প্রযুক্ত হইবে, বাক্সে মোট যতগুলি রোধ আছে, তাহাদের যোগফলের সমান। দুইটি সন্নিহিত ব্লকের মধ্যে সংশ্লিষ্ট বর্তনীর রোধের মান লেখা থাকে।

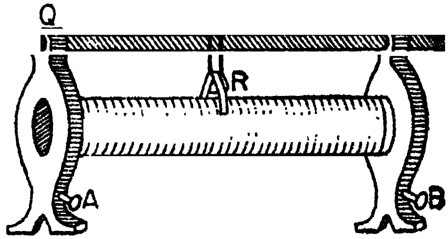


চিত্র 8.3 : রোধ বাক্সের ব্যবস্থা

(গ রিওস্টাট (Rheostat)

ইহা একটি পরিবর্তনীয় রোধ, যাহা কোন বর্তনীতে যুক্ত করিয়া, ঐ বর্তনীতে রোধের

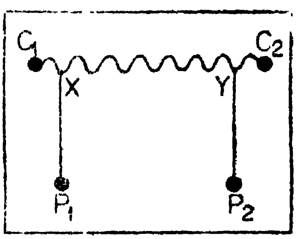
মান ইচ্ছামত কমবেশী করা যায়। সাধারণতঃ একটি চীনামাটির অন্তরক (insulated) চোঙ্-এর উপর অনাবৃত একটি ধাতব-তার (ম্যাঙ্গানিন বা ইউরেকা) জড়ানো থাকে, ঐ তারের দুইপ্রান্ত (A ও B) দুইটি স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত করা থাকে (চিত্র 8.4)। একটি অন্তরিত ধাতব-দণ্ড (PQ) ঐ চোঙের উপর লাগানো থাকে। এই দণ্ডের উপর একটি সঞ্চরণশীল ধাতব পাত R থাকে, যাহা সর্বদা ঐ তারটিকে স্পর্শ করিয়া থাকে, PQ দণ্ডের এক-প্রান্তেও একটি স্ক্রু (S) থাকে। যে বর্তনীর রোধ পরিবর্তন করিতে হইবে, সেই বর্তনীর দুই প্রান্তকে যথাক্রমে স্ক্রু (S) ও A অথবা B প্রান্তের একটি স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত করা হয়। প্রবাহচলাকালীন প্রবাহ S স্ক্রু-এর মধ্য দিয়া PQ দণ্ড মাধ্যমে ঐ ধাতবপাত R-এর মধ্য দিয়া কুণ্ডলীর এক অংশের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া, অপর স্ক্রু মারফৎ বাহির হয়। ধাতব পাত R-কে সরাইয়া বিভিন্ন স্থানে স্থাপন করিলে, ধাতব তারের কার্যকরী দৈর্ঘ্যও পরিবর্তিত হয় এবং সেজন্য বর্তনীতে প্রযুক্ত রোধের পরিমাণও পরিবর্তিত হয়।

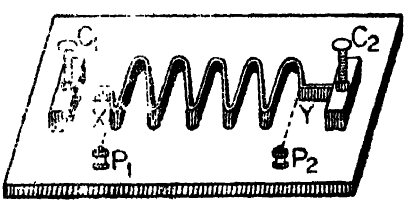


চিত্র 8.4 : রিওস্ট্যাট

(ঘ) **মানক রোধ** (Standard resistance)

ইহা সাধারণতঃ একটি খুব নিম্নমানের (1 ওহম্ অপেক্ষা কম) রোধ এবং ইহাতে একটি এবোনাইট প্লেটের দুই প্রান্তে দুইটি বন্ধনী-স্ক্রু (binding screw)-এর সাহায্যে একটি ধাতবপাত বা কুণ্ডলী আটকানো থাকে। এই বন্ধনী-স্ক্রু দুইটির একটির মধ্য দিয়া (C_1) তড়িৎপ্রবাহ প্রবেশ করে এবং অপর স্ক্রু (C_2)-এর মধ্য দিয়া উহা বাহির হইয়া যায় (চিত্র 8.5)। এই বন্ধনী-স্ক্রুদ্বয়কে সেজন্য 'প্রবাহ মুখ' (current lead) বলে। রোধের যে মান উল্লেখ করা থাকে, তাহা ঐ ধাতব পাত বা কুণ্ডলীর প্রকৃত রোধ অপেক্ষা সামান্য কম হয়। ঐ বন্ধনী-স্ক্রু দুইটির ঠিক পাশেই ভিতরের দিকে দুইটি বিন্দুর সহিত (XY) সংযুক্ত আরো দুইটি স্ক্রু থাকে, এই স্ক্রু দুইটিকে 'বিভব মুখ' (potential lead) বলে। এই 'বিভব মুখ' দুইটির (P_1,P_2) মধ্যকার প্রকৃত রোধই, ঐ রোধের মান বলিয়া উল্লেখ করা থাকে। বর্তনীতে এই মানক রোধকে যুক্ত করিবার সময় 'প্রবাহ মুখ' দুইটির সহিত যুক্ত করিতে হয় কিন্তু ঐ মানক





চিত্র 8.5 : মানক রোধ

রোধের মধ্যে প্রান্তিক বিভব প্রভেদ মাপিবার সময়ে, উহার 'বিভব মুখ'-এর সহিত প্রয়োজনীয় সংযোগ স্থাপন করিতে হয়। চিত্র 8.5-এ, প্রচলিত দুই ধরনের মানক রোধের আকৃতি দেখানো হইয়াছে।

8·2 বিভিন্ন ধরনের কোষসমূহ ও তাহাদের ব্যবহার
(Different types of cell and their uses)

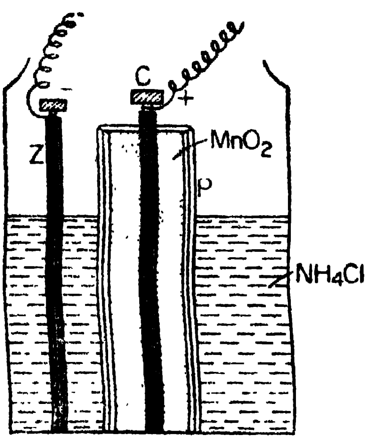
বৈদ্যুতিক পরীক্ষা সংক্রান্ত বিভিন্ন কাজে তড়িৎ কোষের একান্ত প্রয়োজন। সেজন্য এই তড়িৎ কোষ সম্বন্ধে সকলেরই প্রাথমিক জ্ঞান থাকা বিশেষ প্রয়োজন। ইহাদের গঠনপ্রণালী, কার্যক্রম ও ব্যবহারবিধি সম্বন্ধে সাধারণভাবে পরিচিত থাকা বিশেষভাবে বাঞ্ছনীয়।

তড়িৎ কোষ মূলতঃ দুই শ্রেণীতে বিভক্ত করা যাইতে পারে ঃ (ক) প্রাথমিক কোষ (Primary cell) ও (খ) সঞ্চয়ক বা গঠন কোষ (Accumulators বা Secondary cells)। প্রাথমিক কোষে রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন করা হয় এবং ঐ রাসায়নিক পদার্থগুলির কার্যক্ষমতা, কোষ হইতে তড়িৎপ্রবাহ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে কমিয়া যাইতে থাকে। কোষটিকে পুনরায় ব্যবহারযোগ্য করিতে হইলে, উহাতে নূতন রাসায়নিক দ্রব্য সংযোজন করিতে হয়। এই সকল তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল, কাজ চলিবার পর ক্রমশঃ কমিয়া যাইতে থাকে। ডানিয়েল কোষ, লেক্ল্যান্স কোষ ও প্রমাণ কোষ এই শ্রেণীভুক্ত।

(ক) প্রাথমিক কোষ ও তাহাদের ব্যবহার

লেক্ল্যান্স কোষ (Leclanche cell)

এই কোষে একটি কাচের পাত্রে একটি সছিদ্র চীনামাটির পাত্র থাকে (P)। কাচের পাত্রে সংপৃক্ত (saturated) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ থাকে। এই দ্রবণই তড়িৎ বিশ্লেষক। ঐ দ্রবণে একটি পারদপ্রলেপ দেওয়া দস্তার দণ্ড (Z) ডুবানো থাকে (চিত্র 8,6)। এই দণ্ডটি কোষের ঋণাত্মক মেরু। দণ্ডের মাথায় একটি স্ক্রু লাগানো থাকে। চীনামাটির পাত্রের মধ্যে একটি কার্বন দণ্ড (C) থাকে যাহার চারপাশে কাঠকয়লার গুঁড়া এবং ছদনিবারক পদার্থ MnO_2 দ্বারা ভর্তি করা থাকে। কার্বনদণ্ডটি ধনাত্মক মেরু। পাত্রের মুখ পীচ দ্বারা বন্ধ করা থাকে। কর্বনদণ্ডের মাথায়ও একটি স্ক্রু লাগানো থাকে।



চিত্র 8.6 : লেক্ল্যান্স কোষ

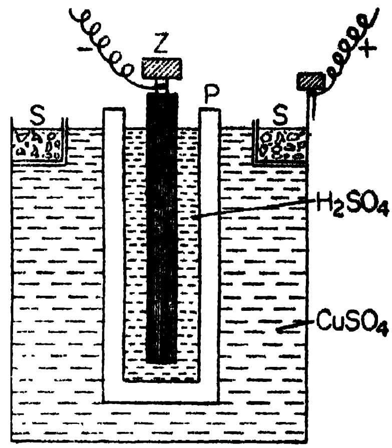
বিক্রিয়া ঃ $Zn+2NH_4Cl=ZnCl_2+2NH_3+2H^+$

$$2MnO_2+2H^+=Mn_2O_3+H_2O$$

এই কোষের তড়িচ্চালক বলের মান প্রায় 1·44 ভোল্ট।

ড্যানিয়েল কোষ (Daniell cell)

এই কোষে একটি তামার পাত্র থাকে এবং এই পাত্রটিই কোষের ধনাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে, তামার পাত্রে সম্পৃক্ত $CuSO_4$-এর তরল দ্রবণ থাকে, এই দ্রবণ ছদননিবারক হিসাবে কাজ করে। তামার পাত্রের মাঝে একটি সছিদ্র চীনামাটির পাত্র (P) থাকে যাহার মধ্যে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড থাকে (চিত্র 8.7)। পারদ প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার দণ্ড (Z) ঐ অ্যাসিডের মধ্যে ডুবানো থাকে। এই দণ্ডটি ঋণাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে। তামার পাত্রের উপরদিকে দুইটি নির্দিষ্ট তাকে (S, S) $CuSO_4$-এর কেলাস রাখা হয় এবং এই কেলাসগুলি $CuSO_4$ দ্রবণের সহিত সংস্পর্শে থাকে, যাহাতে দ্রবণটি সর্বদা সম্পৃক্ত থাকে। এই কোষের মধ্যে বিক্রিয়া এরূপ হয়,



চিত্র 8.7 : ড্যানিয়েল কোষ

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^{++}$$
$$2H^{++} + CuSO_4 = H_2SO_4 + Cu^{++}$$

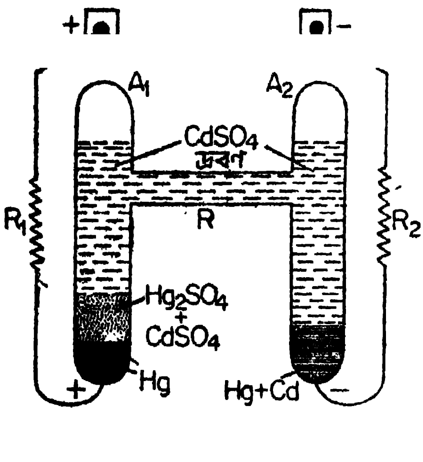
এই কোষের তড়িচ্চালক বলের মান 1·08 ভোল্ট। এই কোষ ছদনমুক্ত বলিয়া ইহা হইতে প্রবাহ বেশীক্ষণ স্থায়ী হয়। ইহাকে সেজন্য স্থির কোষও (constant cell) বলে। এই কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ খুব বেশী বলিয়া, যেখানে বেশী পরিমাণের তড়িৎ প্রবাহের প্রয়োজন হয়, সেখানে এই কোষ ব্যবহার করা যায় না। তবে, যে সমস্ত কাজে বেশীক্ষণ কিন্তু কম মানের তড়িৎপ্রবাহের প্রয়োজন হয়, সেই-সব ক্ষেত্রে ড্যানিয়েল কোষের ব্যবহার বিশেষ সুবিধাজনক।

প্রমাণ কোষ (Standard cell)

এই কোষগুলি এমনভাবে গঠিত যে, ইহা হইতে প্রবাহ গ্রহণ করা সম্ভব নয় কিন্তু কোন ক্ষেত্রে কোন বিভবপ্রভেদ পরিমাপ করিবার জন্য এগুলিকে আদর্শ হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে। দুই ধরনের প্রমাণ কোষ হয়। একটির নাম ল্যাটিমার ক্লার্ক কোষ (Clark cell) এবং অপরটির নাম ওয়েস্টন ক্যাডমিয়াম কোষ (Weston Cadmium cell)। সাধারণতঃ দ্বিতীয় কোষটিই ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

ক্যাডমিয়াম কোষে একটি H-আকৃতির কাচের পাত্র থাকে। যাহার দুই বাহুর (A_1, A_2) নীচে প্ল্যাটিনামের তারের সাহায্যে দুইটি ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু যুক্ত করা থাকে (চিত্র 8.8)। ধনাত্মক মেরুর দিকে (A_1) পাত্রের তলদেশে বিশুদ্ধ পারদ থাকে এবং তাহার উপর Hg_2SO_4 এবং $CdSO_4$ একটি মিশ্রণ থাকে, তাহার উপর

থাকে $CdSO_4$-এর সম্পৃক্ত দ্রবণ। অপর বাহুতে (A_2), যাহা ঋণাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে তাহাতে থাকে পারদ ও ক্যাডমিয়ামের একটি মিশ্রণ এবং তাহার উপরে থাকে $CdSO_4$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণ একটি নলের সাহায্যে (R) দুইটি বাহুর মধ্যে সংযোগ রক্ষা করা হয়। উভয় বাহুতেই $CdSO_4$-এর কেলাস দানা রাখা থাকে যাহারা $CdSO_4$ দ্রবণকে সম্পৃক্ত করিয়া রাখে। প্ল্যাটিনাম তার দুইটি কোষের বাহু দুইটির তলদেশে পারদের সহিত যুক্ত থাকে এবং ঐ তার দুইটির সহিত দুইটি উচ্চমানের রোধ শ্রেণীতে যোগ করিয়া রাখা হয়। ঐ তারদ্বয়ের প্রান্ত-বিন্দুগুলি বাহিরে স্ক্রু-এর সাহায্যে যুক্ত থাকে। যেগুলির সাহায্যে কোষটিকে বহির্বর্তনীতে যোগ করা হয়। কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ অত্যন্ত বেশী বলিয়া এই কোষ হইতে কখনো প্রবাহ পাওয়া যায় না। এই কোষটিকে বিশেষ জোরে নাড়াচাড়া করিতে নাই এবং ইহার দ্বারা সর্বদা কেবলমাত্র অন্য কোষের বা অন্য কোন ক্ষেত্রের তড়িচ্চালক বলের তুলনাকার্য সম্পন্ন করা হয়।



চিত্র ৪৪: মানক কোষ বা প্রমাণ কোষ

এই কোষের তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ $E_t = 1.01830 - 0.0000406\,(t - 20)$ ভোল্ট।

এই মান t° সেণ্টিগ্রেডে এবং স্বভাবতঃই যখন $t = 20^\circ C$; তখন এই কোষের তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ $E_{20} = 1.01830$ ভোল্ট।

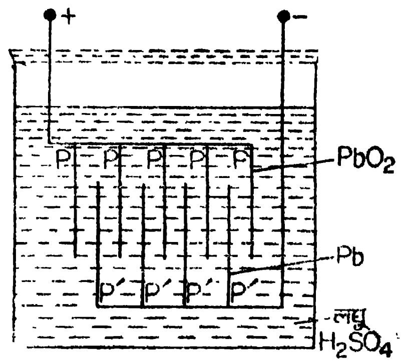
(খ) সঞ্চয়ক বা গৌণ কোষ

প্রাথমিক কোষের মত সঞ্চয়ক কোষে বারবার রাসায়নিক দ্রব্য লওয়ার প্রয়োজন হয় না। এই ধরনের কোষে, একই রাসায়নিক দ্রব্যকে বারে বারে ব্যবহার করা যায়। যখন কোষের ভিতরকার রাসায়নিক দ্রব্যগুলির কর্মক্ষমতা থাকে না, তখন বাহিরের কোন উৎস হইতে কোষের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া কোষের মধ্যস্থ রাসায়নিক পদার্থ-গুলিকে পুনরায় কার্যকরী করা হয়। এই ধরনের কোষগুলিতে তড়িচ্চালক বলের মান অনেকক্ষণ স্থির থাকে। এবং উহার মানও যথেষ্ট বেশী হয়। সেজন্য, কোন পরীক্ষায় অধিকক্ষণ ধরিয়া প্রবাহমাত্রার প্রয়োজন থাকিলে সেক্ষেত্রে সঞ্চয়ক কোষই ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

সাধারণতঃ দুই ধরনের সঞ্চয়ক কোষের ব্যবহার পরীক্ষাগারে হইয়া থাকে—(ক) অ্যাসিড সঞ্চয় কোষ (Acid storage cell) ও (খ) ক্ষারীয়-সঞ্চয়ক কোষ (Alkali storage cell)। ইহাদের গঠন ও কার্যক্রম নিম্নরূপ।

অ্যাসিড সঞ্চয়ক কোষ

একটি কাচের পলিথিনের চতুষ্কোণ পাত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের ভিতর একসারি সীসার পাত ডুবাইয়া কোষটি তৈয়ারী করা হয়। পাতগুলি একটি অন্তর একটিকে যোগ করিয়া দুইটি ভাগে বিভক্ত করা হয়। একভাগের পাতগুলির একপ্রান্ত ধনাত্মক তড়িৎদ্বয়ের সহিত যুক্ত করা হয়। ধনাত্মক তড়িৎদ্বারের সহিত যতগুলি সীসার পাত থাকে, তাহা অপেক্ষা একটি কম সংখ্যক সীসার পাতগুলিকে ঐ ধনাত্মক পাতগুলির ফাঁকে ফাঁকে বসাইয়া, তাহাদের একপ্রান্ত ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারের সহিত যুক্ত করা হয়। (চিত্র 8.9)। সীসার পাতগুলি H_2SO_4-এর সহিত বিক্রিয়ায় $PbSO_4$ উৎপন্ন করে। গুঁড়া $PbSO_4$ যাহাতে পাতগুলি হইতে পড়িয়া না যায়. সেজন্য প্রত্যেকটি পাত খাঁজকাটা জাফ্‌রীর (grid) ন্যায় করা থাকে। কোষটিকে ব্যবহারের পূর্বে উপযুক্ত উৎসের (সমপ্রবাহ) সহিত যুক্ত করিয়া উহাকে আহিত (charged) করা হয় এই সময়ে $PbSO_4$ ধনাত্মক পাতে PbO_2 তে এবং ঋণাত্মক পাতে $PbSO_4$ ধাতব Pb-তে পরিণত হয়। ইহাতে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·18 হইতে 1·25 পর্যন্ত উঠে। আহিত করা কোষটিকে ইহার পর কোন বর্তনীতে যুক্ত করিলে, ইহা হইতে প্রবাহ. বর্তনীতে চালিত হয়। ইহাকে তড়িৎ-মোচন (discharge) বলে। এইরূপ প্রবাহ চলাকালীন ধনাত্মক পাতে PbO_2 এবং ঋণাত্মক পাতে Pb, উভয়েই পুনরায় $PbSO_4$-এ পরিণত হয়। ফলে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্বও কমিয়া আসে এবং 1·18-এ নামিয়া আসিলে, প্রবাহমাত্রা বন্ধ করিয়া দেওয়াই বাঞ্ছনীয়।



চিত্র 8.9 অ্যাসিড সঞ্চয়ক কোষ

পূর্ণমাত্রায় আহিত অবস্থায় এই কোষের তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ 2·2 ভোল্ট হয় কিন্তু কিছুক্ষণ ব্যবহারের পরে উহা 2·0 ভোল্টে নামিয়া আসিয়া স্থির থাকে। এই কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম (0·01 ওহম্ হইতে 0·1 ওহম্)। সেজন্য. বেশী মাত্রায় দীর্ঘসময়ব্যাপী প্রবাহ লওয়ার জন্য এই কোষ বিশেষ উপযোগী। যখন তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ 2·0 ভোল্টের নিম্নে চলিয়া যায়, তখন এই কোষ হইতে প্রবাহ চালানো বাঞ্ছনীয় নয়। এই কোষের ধারণ-ক্ষমতা 'অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা'র (ampere-hour)-এর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যে পরিমাণ প্রবাহ (অ্যাম্পিয়ার) যত ঘণ্টা প্রবাহিত হইতে পারে, তাহাদের গুণফলকেই 'অ্যাম্পিয়ার ঘণ্টা' বলে।

বিক্রিয়া পদ্ধতি :

আহিত হওয়ার সময়ে

ধনাত্মক পাতে : $PbSO_4+H_2O+O=PbO_2+H_2SO_4$

ঋণাত্মক পাতে : $PbSO_4+2H=Pb+H_2SO_4$

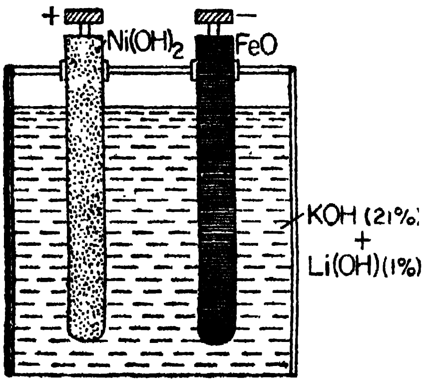
তড়িৎ মোচনের সময়ে :

ধনাত্মক পাতে : $PbO_2+2H+H_2SO_4=PbSO_4+2H_2O$

ঋণাত্মক পাতে : $Pb+O+H_2SO_4=PbSO_4+H_2O$

ক্ষারীয় সঞ্চয়ক কোষ

এই কোষে দুইটি নিকেল করা ইস্পাতের চোঙ দুইটি তড়িৎদ্বার হিসাবে কাজ করে এবং এই কোষ প্রখ্যাত বিজ্ঞানী এডিসন্ আবিষ্কার করিয়াছিলেন বলিয়া, ইহাকে 'এডিসন কোষ' (Edison cell) বা *Ni Fe* (নাইফ-কোষ) কোষও বলে। একটি ইস্পাতের পাত্রে কষ্টিক পটাশের (*KOH*) জলীয় দ্রবণ থাকে যাহার মধ্যে 21% *KOH* ও 1% লিথিয়াম হাইড্রোক্সাইড্ (*LiOH*) থাকে। যখন কোষটি আহিত হয়, তখন ধনাত্মক পাতে $Ni(OH)_3$ উৎপন্ন হয়। ঋণাত্মক পাতে (চিত্র 8.10) লৌহগুঁড়া ও লৌহ অক্সাইড (*Fe* ও *FeO*) থাকে। তড়িৎ মোচনের সময়ে $Ni(OH)_3$ রূপান্তরিত হয় $Ni(OH)_2$-এ, এবং *Fe* জারিত হয় *FeO* এ (জলসম্পৃক্ত অবস্থায়)। এই কোষের বিশেষত্ব এই যে, আহিত বা মোচনের সময়ে এই কোষের ইলেক্ট্রোলাইট-এর কোনরূপ পরিবর্তন ঘটে না। এই কোষে তড়িৎ মোচনের সময়ে তড়িচ্চালক বল প্রাথমিক মান 1·40 ভোল্ট হইতে নামিয়া 1·20 ভোল্টে স্থির হইয়া থাকে। এই মান 1·1 ভোল্টে নামিয়া যাইলে, কোষটি আর না ব্যবহার করাই বাঞ্ছনীয়. দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব তড়িৎ মোচনকালে 1·19 এ থাকে।



চিত্র 8.10 : ক্ষারীয় সঞ্চয়ক কোষ

বিক্রিয়া পদ্ধতি :

তড়িৎমোচন কালে

$$Fe+2Ni(OH)_3 \rightleftharpoons Fe(OH)_2+2Ni(OH)_2$$

আহিত হওয়ার সময়ে

সর্বদিক দিয়াই, এই কোষ অ্যাসিড সঞ্চায়ক কোষ অপেক্ষা ব্যবহারের পক্ষে উপযোগী ও সুবিধাজনক।

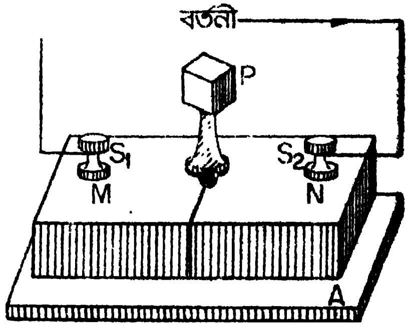
8·3 বিভিন্ন প্রকারের বৈদ্যুতিক চাবি (Different types of Keys)

কোন তড়িৎবর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহকে ইচ্ছামত চালানো বা বন্ধ করিবার জন্য যে

ব্যবস্থা থাকে, তাহাকেই বৈদ্যুতিক চাবি (key) বলে। এই চাবি বিভিন্ন প্রকারের হয়, যাহাদের আলোচনা নিম্নে করা হইল।

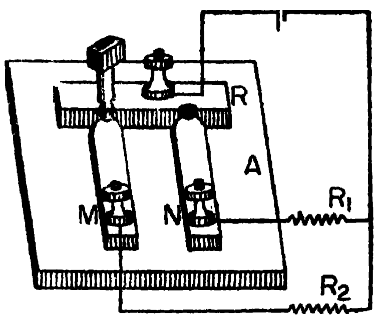
(ক) **একমুখী প্লাগ চাবি** (One-way plug key)

এই চাবির সাহায্যে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ শুধুমাত্র চালু করা বা বন্ধ করা যায়। একটি এবোনাইটের চতুষ্কোণ পাত (A)-এর উপর দুইটি পিতলের পুরু চতুষ্কোণ পাত (M,N) পাশাপাশি বসানো থাকে। পাত দুইটিতে দুইটি স্ক্রু (S_1S_2) লাগানো থাকে (চিত্র 8.11)। এই স্ক্রু দুইটি বর্তনীর বাহিত যুক্ত করা থাকে, পাত দুইটির মাঝে একটু ফাঁক থাকে যাহার মধ্যে একটি প্লাগ (P) বসাইলে, পাত দুইটির মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হয় এবং বর্তনীতে প্রবাহ চালু হয়। যখন প্লাগটিকে তুলিয়া রাখা হয়, তখন বর্তনী বিচ্ছিন্ন হইয়া যায় এবং প্রবাহ বন্ধ হয়।



চিত্র 8.11 : একমুখী প্লাগ চাবি

(খ) **দুইমুখী চাবি** (Two-way key)



চিত্র 8.12 : দুইমুখী চাবি

এই চাবির সাহায্যে বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন না করিয়া বর্তনীর একটি অংশ হইতে দ্রুত এবং অতি সহজে আর একটি অংশে প্রবাহ পাঠানো যায়। এক্ষেত্রেও একটি এবোনাইট চতুষ্কোণ পাতের (A) উপর, সংযোজক স্ক্রু-যুক্ত দুইটি পিতলের পুরু পাত (M,N) পাশাপাশি সমান্তরালভাবে রাখা থাকে (চিত্র 8.12)। ঐ পাত দুইটির সামনে আর একটি স্ক্রু-যুক্ত পাত (R) আড়াআড়ি ভাবে লাগানো থাকে এমনভাবে যে, এই পাতটির সহিত M বা N পাতকে পৃথকভাবে একটি চাবির সাহায্যে সংযুক্ত করা যায়। যখন M পাতটি R-এর সহিত যুক্ত থাকে, তখন N-পাতটি বিচ্ছিন্ন থাকে এবং অনুরূপভাবে, যখন N-পাতটি R-এর সহিত যুক্ত হয়, তখন M-পাতটি বিচ্ছিন্ন থাকে। কিভাবে বহির্বর্তনীর সহিত, দুইটি অংশকে পৃথকভাবে সংযুক্ত করা যায় তাহা চিত্র 8.12 হইতে পরিষ্কারভাবে বুঝা যাইবে।

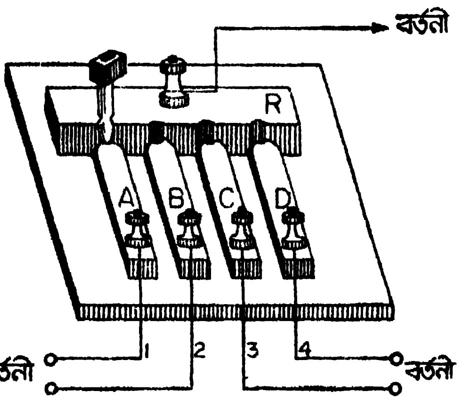
(গ) **চতুর্মুখী চাবি** (Four-way key)

দুইমুখী চাবির ন্যায় ইহাও একই ধরনের একটি চাবি এবং ইহার গঠন দুইমুখী চাবির ন্যায়ই। তবে এক্ষেত্রে একটি বর্তনীর চারিটি অংশকে পৃথকভাবে, বর্তনীর

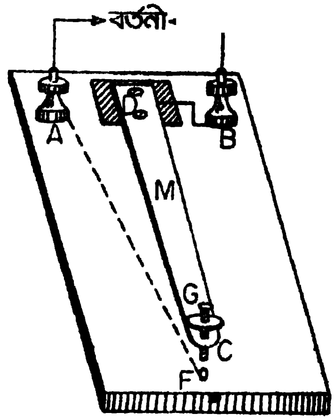
একটি অংশের সহিত যুক্ত করা যায় এবং সেজন্য চারিটি পাতের ($A, B, C, D,$) সহিত একটি পাতকে (R) যুক্ত করা যায় (চিত্র 8.13)।

(ঘ) **টেপা চাবি** (Tapping key)

এই চাবির সাহায্যে বর্তনীর মধ্যে যে কোন দুইটি অংশের মধ্যে ক্ষণিক সংযোগ ও ক্ষণিক সংযোগ বিচ্ছিন্ন করা যায়, ইহাতে একটি বাঁকানো ধাতব পাত (M) থাকে যাহার একপ্রান্তে একটি ধাতব সরু ও সূক্ষ্ম পাত (C) লাগানো থাকে (চিত্র 8.14)



চিত্র 8.13 : চতুর্মুখী চাবি



চিত্র 8.14 : টেপা চাবি

এবং অপর প্রান্ত (D) বর্তনীর সহিত একটি স্ক্রু-মাধ্যমে (B) যুক্ত করা হয়। সরু ও সূক্ষ্ম পাত (C)-এর ঠিক তলদেশে আর একটি সূক্ষ্ম ধাতব পাত (F) এবোনাইটের উপর লাগানো থাকে এবং স্বাভাবিক অবস্থায়, সূক্ষ্ম পাতদ্বয়ের (C ও F) মধ্যে সামান্য ফাঁক থাকে। কিন্তু C পাতের উপরে লাগানো বোতাম (G) চাপিলেই, C ও F পাতের মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হয়. F পাতটি এবোনাইটের উপর রক্ষিত আর একটি স্ক্রু (A)-এর সহিত সরু তার দ্বারা যুক্ত করা থাকে, এই ব্যবস্থায়, কেবলমাত্র G বোতাম চাপিলেই বর্তনীর সহিত যুক্ত A ও B স্ক্রু-দ্বয়ের মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হয়। কিন্তু বোতামটির উপর চাপ মুক্ত করিলেই, স্ক্রু-দ্বয়ের মধ্যে সংযোগ বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়। চিত্র 8.13 হইতে, সংযোগ ব্যবস্থা সহজেই বুঝা যাইবে।

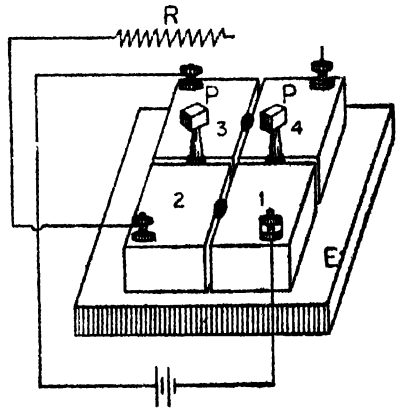
কম্যুটেটর বা দিগ্‌ পরিবর্তক (Commutators)

কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করার জন্য যে ব্যবস্থা থাকে, তাহাকে কম্যুটেটর বা দিগ্‌পরিবর্তক বলে। কম্যুটেটর নানাপ্রকারের হয় কিন্তু সাধারণতঃ দুই প্রকার কম্যুটেটরের ব্যাপক ব্যবহার পরীক্ষাগারে হয়। এইগুলি হইল (ক) প্লাগ কম্যুটেটর (Plug type) ও (খ) পোহল্‌ কম্যুটেটর (Pohl Commutator)। এইগুলির বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করা হইল।

(ক) **প্লাগ্‌ কম্যুটেটর** (Plug Commutator)

একটি এবোনাইট পাতের (E) উপর চারিটি বৃত্তপাদ আকারের ধাতুপাদ বৃত্তের

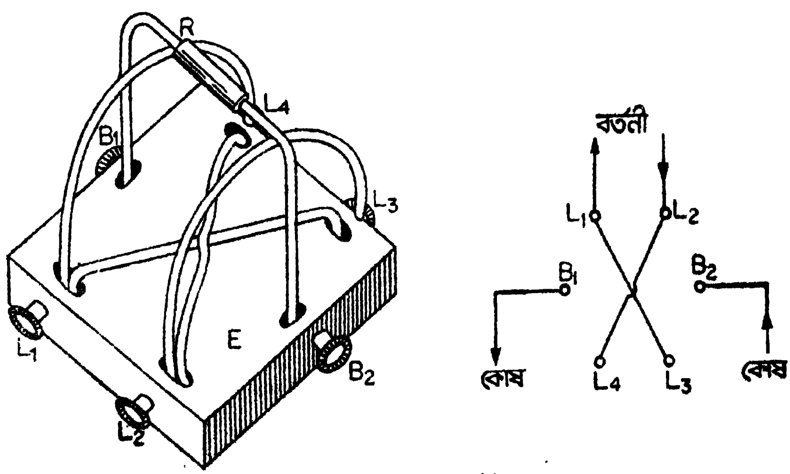
আকারে কিন্তু পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্নভাবে বসানো থাকে (চিত্র 8.15)। প্রত্যেক জোড়া ধাতুপাদের মধ্যে একটি অর্ধ-বৃত্তাকার ছিদ্র থাকে যাহার মধ্যে চাবি (P,P) বসানো যায়। চারটি পাতের উপর চারটি স্ক্রু লাগানো থাকে, যেগুলিতে বর্তনীর তার যুক্ত করা হয়। যে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করিতে হইবে, তাহার দুই প্রান্ত দুই বিপরীতমুখী কোণাকুণি (diagonally opposite) ধাতুপাদের সহিত যুক্ত করিতে হয় (যেমন 1 ও 3 বা 2 ও 4)। অপর পাত দুইটির সহিত তড়িৎ কোষের দুই প্রান্ত যুক্ত করিতে হয়। যে কোন দুইটি ফাঁকে সামনাসামনি (face to faces) চাবি রাখিলে, বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ যেদিকে হইবে, চাবি দুইটি অন্য দুইটি ফাঁকের মধ্যে রাখিলে, তড়িৎপ্রবাহ তাহার বিপরীত দিকে হইবে।



চিত্র 8.15 : প্লাগ কম্যুটেটর

(খ) **পোহল্ কম্যুটেটর** (Pohl Commutator)

এই ধরনের কম্যুটেটরে একটি এবোনাইটের পাতের (E) উপর ছয়টি পারদপূর্ণ কাপ থাকে। প্রতিটি কাপ একটি ধাতব সংযোগের মাধ্যমে ছয়টি স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত থাকে (চিত্র 8.16)। দুইটি পরস্পর কোণাকুণি কাপের মধ্যে দুইটি ধাতব দণ্ডের সাহায্যে সংযোগ



চিত্র 8.16 : পোহল্ কম্যুটেটর

থাকে। ইহার একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ একটি বাঁকানো ফ্রেম (R) যাহাকে 'rocker' বলে, ইহার মোট ছয়টি পায়া থাকে যাহার মধ্যে মাঝের দুইটি, এবোনাইট পাতের মধ্যবর্তী দুইটি

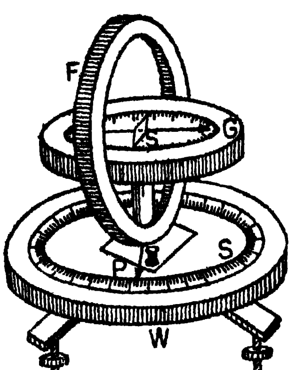
কাপের মধ্যে সর্বদা ডুবানো থাকে, বাকী চারিটি পায়া এমনভাবে তৈয়ারী করা থাকে যাহাতে যদি একদিকের দুইটি পায়া, দুইটি কাপের মধ্যে ডুবানো থাকে, তাহা হইলে তখন অন্য দুইটি পায়া কাপ হইতে উঠিয়া বাতাসে থাকে, আবার ঐ পায়া দুইটি কাপে ডুবাইলে প্রথমোক্ত পায়া দুইটি বাতাসে উঠিয়া থাকে। মধ্যবর্তী স্ক্রু-দুইটি (B_1B_2) তড়িৎকোষ বর্তনীতে যুক্ত করা হয় এবং বর্তনীর যে অংশে বর্তনীপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করিতে হইবে, সেই অংশের দুইটি সংযোগকারী তার হয় L_1, L_2 অথবা L_3, L_4 এর সহিত যুক্ত করিতে হয়। চিত্র 8.16 হইতে, বর্তনীর সংযোগ ব্যবস্থা পরিষ্কার ভাবে বুঝা যাইবে। Roker-এর-দুই পায়া একবার একদিকে এবং একবার অপরদিকে সরাইলেই, প্রয়োজনমত বর্তনীর অংশে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত হইবে।

8.4 গ্যালভ্যানোমিটার ও উহার বিভিন্ন প্রকারভেদ (Galvanometers and their different types)

গ্যালভ্যানোমিটার একপ্রকার যন্ত্রবিশেষ যাহার সাহায্যে কোন বর্তনীতে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ নির্ণয় বা অবেক্ষণ করা যাইতে কারে। গ্যালভ্যানোমিটার বিভিন্ন শ্রেণীর হয়। পরীক্ষাগারে সর্বাধিক প্রচলিত গ্যালভ্যানোমিটারগুলি হইল (ক) স্থিরকুণ্ডলী ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার (fixed coil tangent galvanometer) এবং (খ) প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার (suspended coil type galvanometer)। উহাদের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা ও কার্যক্রম দেওয়া হইল।

(ক) **ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার** (Tangent Galvanometer)

এই গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহ, গ্যালভ্যানোমিটারের সূচীচুম্বকের বিক্ষেপকোণের (tangent) সহিত আনুপাতিক হয় এবং সেজন্যই এই গ্যালভ্যানোমিটারের এরূপ নামকরণ হইয়াছে।



চিত্র 8.17 : ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার

এই যন্ত্রের নিম্নাংশে একটি গোলাকৃতি কাঠের পাটাতন (W) থাকে যাহার সহিত তিনটি লেভেলিং স্ক্রু থাকে। উহাদের সাহায্যে সমগ্র যন্ত্রটিকে লেভেলিং করা যায়। পাটাতনের গাত্রে একটি অংশাঙ্কিত বৃত্তাকার স্কেল (S) থাকে (চিত্র 8.17)। এই স্কেলটি 0°—360° পর্যন্ত রেখাঙ্কিত থাকে। এই স্কেলের কেন্দ্র ও পাটাতনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থিত থাকে। পাটাতনের কেন্দ্র হইতে উল্লম্বভাবে খাড়া একটি গোলাকার ফ্রেম (F) থাকে এবং এই ফ্রেমের ভিতর খাঁজকাটা অংশ বেশ কয়েক পাক জড়োনো অন্তরিত তামার তার জড়ানো থাকে। ফ্রেমটিকে উল্লম্বঅক্ষ বরাবর ঘুরানো যায়, এবং এই ঘূর্ণনের পরিমাণ জানা যায় পাটাতনের গাত্রে লাগানো একটি সূচকের (P) সাহায্যে। এই সূচকটি পাটাতনের স্কেল (S)-এর গাত্রে ঘুরে এবং উল্লম্ব ফ্রেমের

ঘূর্ণনের পরিমাণ নির্দেশ করে। একটি কাচের বাক্স (*G*) ফ্রেমের কেন্দ্রে অনুভূমিক ভাবে আটকানো থাকে। এই বাক্সের মধ্যে সূচক সম্বলিত আর একটি বৃত্তাকার স্কেল থাকে যাহার চারিটি বৃত্তপাদ 0° হইতে 90° পর্যন্ত পৃথকভাবে অংশাঙ্কিত থাকে। এই স্কেল ও ফ্রেমের সম্মিলিত কেন্দ্রে একটি উল্লম্ব সূচীমুখের উপর একটি ছোট চুম্বকশলাকা (*ns*) থাকে যাহা অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে। এই চুম্বকের সহিত সমকোণে যে সূচক থাকে তাহা কাচের ভিতরকার স্কেলের উপর ঘুরিতে পারে এবং চুম্বকশলাকার ঘূর্ণনের পরিমাণ নির্ণয় করে। লম্বনত্রুটি দূর করিবার জন্য সূচকের নীচে একটি আয়না থাকে।

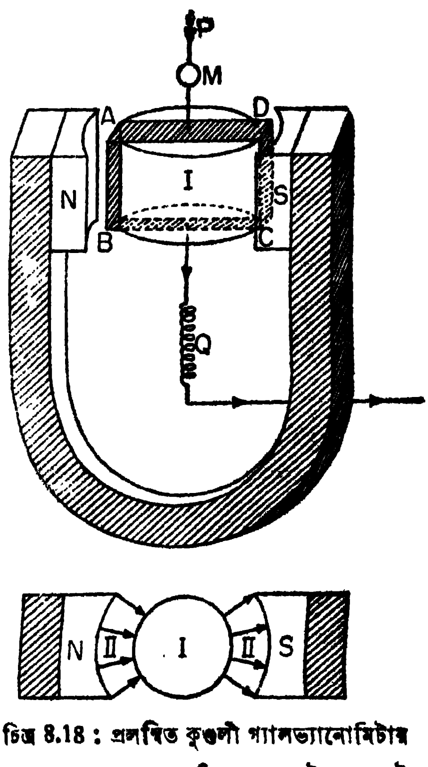
যন্ত্রটি ব্যবহারের পূর্বে, লেভেলিং স্ক্রু-এর সাহায্যে যন্ত্রটিকে অনুভূমিক ও ফ্রেমকে উল্লম্ব করা হইল। উল্লম্ব ফ্রেমকে ঘুরানো হইলে যতক্ষণ না উহার তলের সহিত চুম্বকশলাকা মিলিয়া থাকে, সেক্ষেত্রে কাঠের ফ্রেমটি চৌম্বক মধ্যতলে থাকিবে। কাচের বাক্সটিকে ঘুরাইয়া, সূচকটিকে স্কেলের 0°—0°-এর সহিত মিলাইয়া লইতে হইবে। এই অবস্থায় ফ্রেমের মধ্যকার তামার তারের মধ্য দিয়া প্রবাহ পাঠাইলে, যদি সূচকের বিক্ষেপ (অর্থাৎ চুম্বকশলাকার) $\theta°$ হয় তাহা হইলে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের প্রবাহমাত্রা হইবে

$$C = 10K \tan \theta.$$

এখানে *K* একটি ধ্রুবক যাহাকে গ্যালভ্যানোমিটার লঘুগুণক বলে (Reduction factor)।

(খ) প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার (Suspended coil type galvanometer)

একটি প্রলম্বিত কুণ্ডলীর উপর চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবের ভিত্তিকে কেন্দ্র করিয়া এই গ্যালভ্যানোমিটার তৈয়ারী করা হয়। গ্যালভ্যানোমিটার দুই-প্রকারের হইতে পারে: (ক) রুদ্ধদোল (dead beat) ধরন ও (খ) প্রক্ষেপ কুণ্ডলী (ballistic type) ধরনের। দ্বিতীয় ধরনের ক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর দোলনকাল অনেক-ক্ষণব্যাপী হয়। পরীক্ষাগারে সাধারণ কাজে প্রথমশ্রেণী গ্যালভ্যানোমিটারের (রুদ্ধদোল শ্রেণী) ব্যবহার বেশী এবং উহার বর্ণনা দেওয়া হইল।



চিত্র 8.18 : প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার

ইহাতে একটি আয়তক্ষেত্রিক তামার ফ্রেমের উপর (*ABCD*) অন্তরিত সরু তামার তার অনেক পাক জড়াইয়া তাহার একপ্রান্ত একটি সরু ফসফর ব্রোঞ্জের (*P*) তারের সহিত লাগাইয়া ঝুলাইয়া

রাখা হয় (চিত্র 4.18)। ফস্‌ফর ব্রোঞ্জের অপর প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বন মাধ্যমে, গ্যালভ্যানোমিটারের একটি সংযোজক স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত থাকে। তামার তারের অপর প্রান্ত আর একটি প্যাঁচালো (spiral) ফস্‌ফর ব্রোঞ্জের তারের সহিত (Q) যুক্ত করিয়া, অপর একটি সংযোজক স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত থাকে। তামার ফ্রেমটিকে একটি স্থায়ী অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বকের (NS) মেরুদ্বয়ের মধ্যে ঝুলাইয়া রাখা হয়। চুম্বকের মেরুদ্বয়কে চোঙাকৃতি করিয়া উহার অক্ষ বরাবর একটি কাঁচা লোহার চোঙ (I) রাখা হয়, যাহাতে চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলি কেন্দ্রাভিমুখী (radial) হইতে পারে। ইহাতে কুণ্ডলীটির সর্ব অবস্থানে উহা বলরেখাগুলির সহিত মিলিয়া থাকিতে পারে। উপরে ঝুলানো ফস্‌ফর ব্রোঞ্জের তারের সহিত একটি ছোট দর্পণ (M) লাগানো থাকে, যাহার সাহায্যে ল্যাম্প-স্কেল পদ্ধতিতে, কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের পরিমাণ মাপা যায়। দর্পণের সামনে একটি ছোট কাচ থাকে। সমগ্র যন্ত্রটির ভূমিতে তিনটি লেভেলিং স্ক্রু থাকে।

প্রথমে স্ক্রুগুলিকে যথাযথভাবে লেভেলিং করা হয় যাহাতে কুণ্ডলীটি স্বচ্ছন্দে লোহার চোঙ ও চোঙাকৃতি চৌম্বক মেরুর মধ্যে বিনাবাধায় ঘুরিতে পারে। ল্যাম্প ও স্কেলের সাহায্যে ছোট দর্পণের উপর আলোকরশ্মি ফেলিয়া, প্রতিফলিত রশ্মিকে স্কেলের উপর গ্রহণ করা হয়। যদি i পরিমাণ ($e.m.u.$) তড়িৎপ্রবাহ n পাকসংখ্যা বিশিষ্ট ঝুলন্ত কুণ্ডলীর (যাহার ক্ষেত্রফল A) মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় এবং ইহার ফলে যদি কুণ্ডলীর বিক্ষেপ হয় θ রেডিয়ান, তাহা হইলে দেখানো যায় যে,

$$i=\frac{C\theta}{AnH}=K\theta$$

যেখানে H = চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং C = কুণ্ডলীতারকে এক রেডিয়ান ঘুরাইতে প্রয়োজনীয় দ্বন্দ্ব ; K = গ্যালভ্যানোমিটার ধ্রুবক $=\dfrac{C}{nAH}$।

এই গ্যালভ্যানোমিটারকে D'Arsonval ধরনের গ্যালভ্যানোমিটারও বলা হয়।

গ্যালভ্যানোমিটারের সুগ্রাহীতা (Sensitivity of a galvanometer)

যখন কোন গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া অল্প প্রবাহমাত্রা পাঠানোর ফলে, কুণ্ডলীর বিক্ষেপ যথেষ্ট পরিমাণ হয়, তখন গ্যালভ্যানোমিটারকে 'তড়িৎপ্রবাহের সুগ্রাহী' (current sensitive) বলে। আবার যদি গ্যালভ্যানোমিটার কুণ্ডলীর দুই-প্রান্তে অল্প বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করিলেই কুণ্ডলীর বিক্ষেপ যথেষ্ট পরিমাণ হয়, তখন গ্যালভ্যানোমিটারকে 'ভোল্টেজ সুগ্রাহী' (voltage sensitive) বলে।

গ্যালভ্যানোমিটার কুণ্ডলীর মধ্যে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত করিলে, কুণ্ডলী-সংলগ্ন দর্পণ হইতে প্রতিফলিত আলোকরশ্মি এক মিটার দূরে অবস্থিত একটি স্কেলের উপর এক মিলিমিটার সরিয়া যায়, সেই পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহকে, গ্যালভ্যানোমিটারের 'তড়িৎপ্রবাহের সুগ্রাহীতা' বা 'দক্ষতাংক' (figure of merit) বলে। সূক্ষ্ম ঝুলনতার বা কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা বাড়াইলেই (অর্থাৎ রোধ বেশী হইলে) এই সুগ্রাহীতা বাড়ে।

গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর প্রান্তে যে পরিমাণ বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করিলে

কুণ্ডলীসংলগ্ন দর্পণ হইতে প্রতিফলিত আলোকরশ্মি একমিটার দূরে অবস্থিত একটি স্কেলের উপর এক মিলিমিটার সরিয়া যায়, সেই পরিমাণ বিভবপ্রভেদকে, গ্যালভ্যানোমিটারের 'ভোল্টেজ-সুগ্রাহীতা' (voltage sensitivity) বলে।

ভোল্টেজ সুগ্রাহীতা = দক্ষতাংক × গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ।

ভোল্টেজ সুগ্রাহী গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ সেজন্য খুব কম হয়।

8·5 শাণ্ট ও উহার ব্যবহার (Shunt and its uses)

গ্যালভ্যানোমিটার একটি অত্যন্ত সূক্ষ্ম যন্ত্র। সেজন্য ইহার মধ্য দিয়া যাহাতে প্রয়োজনের অতিরিক্ত প্রবাহমাত্রা হঠাৎ প্রবাহিত হইয়া উহাকে ক্ষতিগ্রস্ত না করিতে পারে, সেদিকে নজর রাখা বিশেষ প্রয়োজন। বেশী প্রবাহমাত্রা প্রবাহিত হইলে, কুণ্ডলী বা ঝুলানো তার ইত্যাদি পুড়িয়া যাইতে পারে বা ছিঁড়িয়া যাইতে পারে। এইরূপ ক্ষতি হইতে রক্ষা পাইবার জন্য গ্যালভ্যানোমিটারকে সুরক্ষিত অবস্থায় রাখিতে নিম্নলিখিত যে কোন ব্যবস্থা লওয়া হয়ঃ

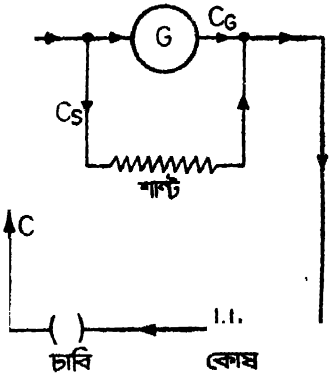
(ক) গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত সমান্তরালে (in parallel) একটি যথাযথ মানের অল্প রোধ জুড়িয়া দেওয়া হয়, যাহাকে 'শাণ্ট' (shunt) বলে

(খ) গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে (in series) একটি যথাযথ উচ্চমানের রোধ (high resistance) জুড়িয়া দেওয়া হয়।

প্রথম ব্যবস্থায়, মূল তড়িৎপ্রবাহের অধিকাংশ ঐ নিম্নমানের রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় বলিয়া, গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া অল্প পরিমাণ প্রবাহমাত্রা যায়। সেজন্য গ্যালভ্যানোমিটারের কোন ক্ষতি হয় না। দ্বিতীয় ব্যবস্থায় যেহেতু শ্রেণীসমবায়ে একটি উচ্চমানের রোধ থাকে, সেজন্য গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীতে মোট প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহের মান কম থাকে এবং গ্যালভ্যানোমিটার ক্ষতিগ্রস্ত হয় না।

শাণ্ট (Shunt)

একটি নিম্নমানের রোধ বাক্স (1 ohm অপেক্ষা কম) শাণ্ট হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই বাক্সের সংযোগকারী স্ক্রু-দ্বয়কে গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত সমান্তরালে যুক্ত করা হয় (চিত্র 8.19)। বাক্সের পরিবর্তে অনেক সময়ে একটি নিম্নমানের আদর্শ বা মানক-রোধও (standard low resistance) ব্যবহৃত হয়। বাক্স ব্যবহার করার সুবিধা এই যে, প্রয়োজনমত শাণ্টের মান কমবেশী করিয়া, গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার পরিমাণ কমবেশী করা যায়। যদি গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ G এবং প্রযুক্ত শাণ্টের মান S হয়, তাহা হইলে, গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া ও শাণ্টের মধ্য দিয়া প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার অনুপাত হইবে



চিত্র 8.19 : শাণ্ট ও উহার ব্যবহার

$$\frac{C_g}{C_s} = \frac{S}{G}$$

এবং বর্তনীর মূলপ্রবাহ যদি C হয় ($C=C_g+C_s$)
তাহা হইলে, শাণ্টের মধ্য দিয়া প্রবাহমাত্রা যাইবে,

$$C_s=\frac{G}{S+G}.C$$

এবং, গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহমাত্রা যাইবে,

$$C_g=\frac{S}{S+G}.C$$

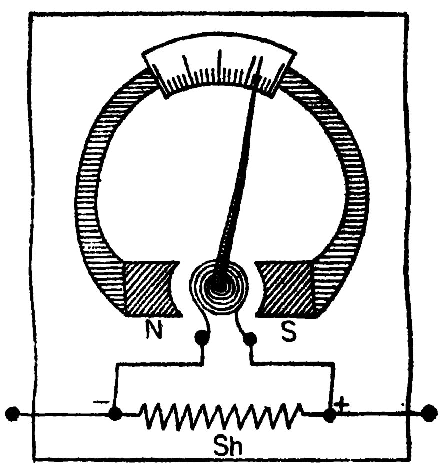
স্বভাবতই যেহেতু S-এর মান G-এর মান অপেক্ষা অনেক কম, সেজন্য গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা (C_g) অনেক কম হয় এবং গ্যালভ্যানোমিটার ক্ষতিগ্রস্ত হয় না।

8·6 অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার (Ammeter and Voltmeter)

কোন বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা সরাসরি মাপিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয়, তাহাকে অ্যাম্‌মিটার (Ammeter) ও বর্তনীর মধ্যে যে কোন দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভবপ্রভেদ (potential difference) মাপিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয়, তাহাকে ভোল্টমিটার (Voltmeter) বলে। প্রকৃতপক্ষে, অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার, উভয় যন্ত্রই প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের পরিবর্তিত ও সংশোধিত রূপ। এই সংশোধিত রূপ খুব হালকা ও বহনযোগ্য হয় এবং উভয়ক্ষেত্রেই কুণ্ডলীর বিক্ষেপ একটি দাগাঙ্কিত স্কেল এবং সূচকের সাহায্যে পরিমাপ করা হয়। এই স্কেল অ্যাম্‌মিটারের ক্ষেত্রে 'অ্যাম্‌পিয়ার' ও ভোল্টমিটারের ক্ষেত্রে 'ভোল্টে' অংশাঙ্কিত থাকে।

অ্যাম্‌মিটার

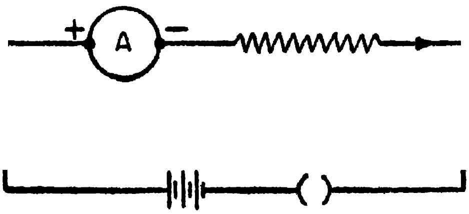
ইহা একটি সংক্ষিপ্ত আকারের প্রলম্বকুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার যাহার কুণ্ডলীর সহিত একটি নিম্নমানের রোধ (Sh) সমান্তরালভাবে 'শাণ্ট' হিসাবে যুক্ত থাকে (চিত্র 8.20)। এর ফলে যন্ত্রটি মূল সংযোগকারী স্ক্রু-দুইটির মধ্যে কার্যকরী রোধ খুব সামান্য হয়। অংশাঙ্কিত স্কেল 'অ্যাম্‌পিয়ারে বা 'মিলিঅ্যাম্পিয়ারে' লেখা থাকে। এই স্কেল পূর্বে পরিমিত প্রবাহমাত্রার সাহায্যে দাগাঙ্কিত করা হইয়া থাকে। এই স্কেলের উপর সূচকের অবস্থান হইতে, যন্ত্রের মধ্য দিয়া প্রবাহিত (এবং বর্তনীর মধ্য দিয়াও) প্রবাহমাত্রার



চিত্র 8 20 : অ্যামমিটার

পরিমাণ সরাসরি পাওয়া যায়। সমগ্র অ্যাম্‌মিটার যন্ত্রটির আপেক্ষিক রোধ খুব কম

হওয়াতে মূল বর্তনীতে ইহাকে শ্রেণীসমবায়ে সংযোগ করিলে, বর্তনীতে মোট রোধ

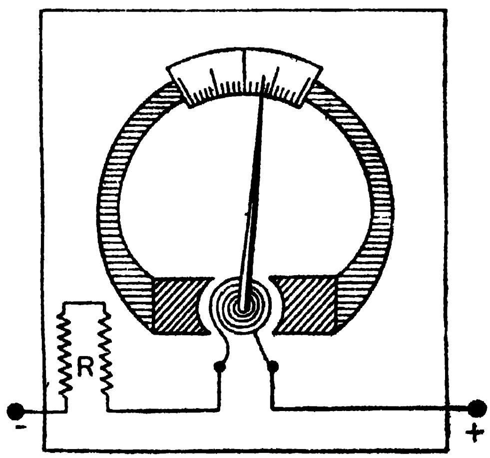


চিত্র 8.21

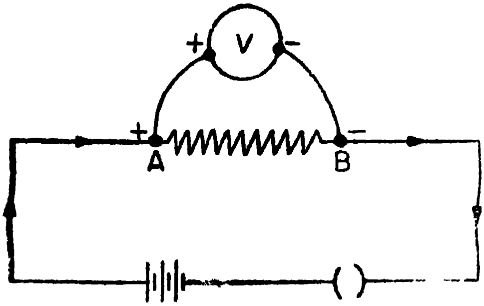
মাত্রার কোন পরিবর্তন হয় না। সেজন্য অ্যাম্‌মিটারকে সর্বদা বর্তনীতে **শ্রেণীসমবায়ে** যোগ করিতে হয় (চিত্র 8.21)।

ভোল্টমিটার

ইহাও একটি সংক্ষিপ্ত আকারের প্রলম্ব-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার যাহার কুণ্ডলীর সহিত একটি উচ্চমানের রোধ (R) শ্রেণীসজ্জায় যুক্ত থাকে (চিত্র 8.22)। বর্তনীর যে অংশ দুইটির মধ্যে বিভবপ্রভেদ মাপিবার প্রয়োজন হয়, সেই অংশের সহিত সমান্তরালভাবে, যন্ত্রটির সংযোগ স্ক্রু-দুইটি যুক্ত করিতে হয়। চিত্র 8.23-এ, ভোল্টমিটার বর্তনীতে কিভাবে যুক্ত করিতে হয়, তাহা দেখানো হইয়াছে। বর্তনীর যে বিন্দু দুইটির মধ্যে বিভবপ্রভেদ মাপিতে হইবে, তাহাদের মধ্যে যে বিন্দুটি উচ্চবিভবসম্পন্ন (higher potential), সেই বিন্দুতে ভোল্টমিটারের (+) যুক্ত স্ক্রুটি যুক্ত করিতে হইবে। এই বিষয়ে বিশেষ সাবধানতা অবলম্বন করা প্রয়োজন। যেহেতু উচ্চরোধ শ্রেণীসজ্জায় এই যন্ত্রের মধ্যে থাকে, সেজন্য সমগ্র যন্ত্রটির তুল্যরোধ খুব বেশী এবং ফলে, এই যন্ত্রটিকে বর্তনীর নির্দিষ্ট অংশে সমান্তরালে সংযোগ করিলেও বর্তনীর মধ্যকার রোধের কোন পরিবর্তনহয় না। সেজন্য নির্দিষ্ট বিন্দুদ্বয়ের মধ্যেকার বিভবপ্রভেদের মান,



চিত্র 8.22 : ভোল্টমিটার



চিত্র 8.23

যন্ত্রটি যুক্ত হওয়ার ফলে কোনরূপ পরিবর্তিত হয় না। ভোল্টমিটারের স্কেলের অংশাঙ্কিত দাগ হয় 'ভোল্টে' বা 'মিলিভোল্টে' লেখা থাকে।

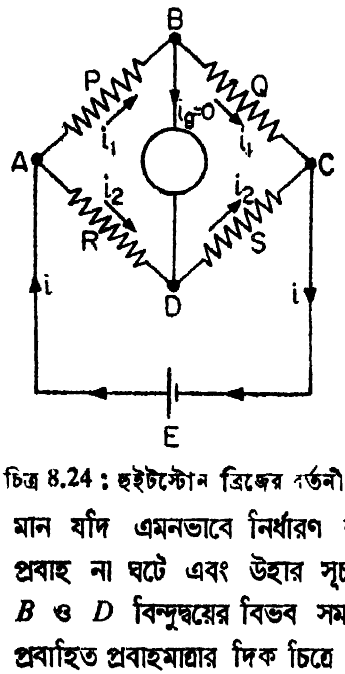
মনে রাখিতে হইবে যে,

(i) অ্যাম্‌মিটার বর্তনীতে সর্বদা **শ্রেণীসজ্জায়** যুক্ত করা হয়।

(ii) ভোল্টমিটার বর্তনীতে সর্বদা **সমান্তরালে** যুক্ত করা হয়।

8·7. হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি (Principle of Wheatstone's Bridge)

পরীক্ষাগারে কোন পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করিবার প্রয়োজন হইলে সাধারণতঃ যে পদ্ধতিতে উহা করা হয়, তাহা এক বিখ্যাত নীতির উপর ভিত্তি করিয়া সম্পন্ন করা হয়। এই নীতিই হইল. 'হুইটষ্টোন ব্রিজের নীতি'। ইহা একটি বিশিষ্ট ধরনের বর্তনী। এই বর্তনীতে চারিটি রোধ P, Q, R ও S চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থায় সজ্জিত থাকে (চিত্র 8.24) ইহাদের মধ্যে P, Q শ্রেণীসজ্জায় এবং R, S শ্রেণীসজ্জায় থাকে। বর্তনীটি এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাহাতে PQ সমন্বয়টি RS সমন্বয়ের সহিত সমান্তরালে থাকে। A, B, C, D চারিটি সংযোগবিন্দুর দুইটি একান্তর বিন্দু (A ও C) একটি তড়িৎকোষের (E) সহিত অপর দুইটি একান্তর বিন্দু (B ও D) গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত যুক্ত থাকে। এই অবস্থায় চারিটি রোধের মান যদি এমনভাবে নির্ধারণ করা হয় যাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া কোন প্রবাহ না ঘটে এবং উহার সূচকের কোন বিক্ষেপ না ঘটে, তাহা হইলে অবশ্যই B ও D বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হইবে। এই অবস্থায় অন্যান্য অংশের মধ্য দিয়া প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার দিক চিত্রে প্রদর্শিত অনুযায়ী হইবে। A,B,C,D বিন্দুর বিভবকে যথাক্রমে V_A, V_B, V_C, V_D ধরিলে.



চিত্র 8.24 : হুইটস্টোন ব্রিজের বর্তনী

$$V_A - V_B = i_1P \;;\; V_A - V_D = i_2R$$

$$V_B - V_C = i_1Q \;;\; V_D - V_C = i_2S$$

কিন্তু $\quad V_A - V_B = V_A - V_D \quad$ (যেহেতু $V_B = V_D$)

এবং $\quad V_B - V_C = V_D - V_C$

$$\therefore \frac{V_A - V_B}{V_B - V_C} = \frac{V_A - V_D}{V_D - V_C}$$

বা, $\dfrac{i_1P}{i_1Q} = \dfrac{i_2R}{i_2S}$ বা, $\dfrac{P}{Q} = \dfrac{R}{S}$.

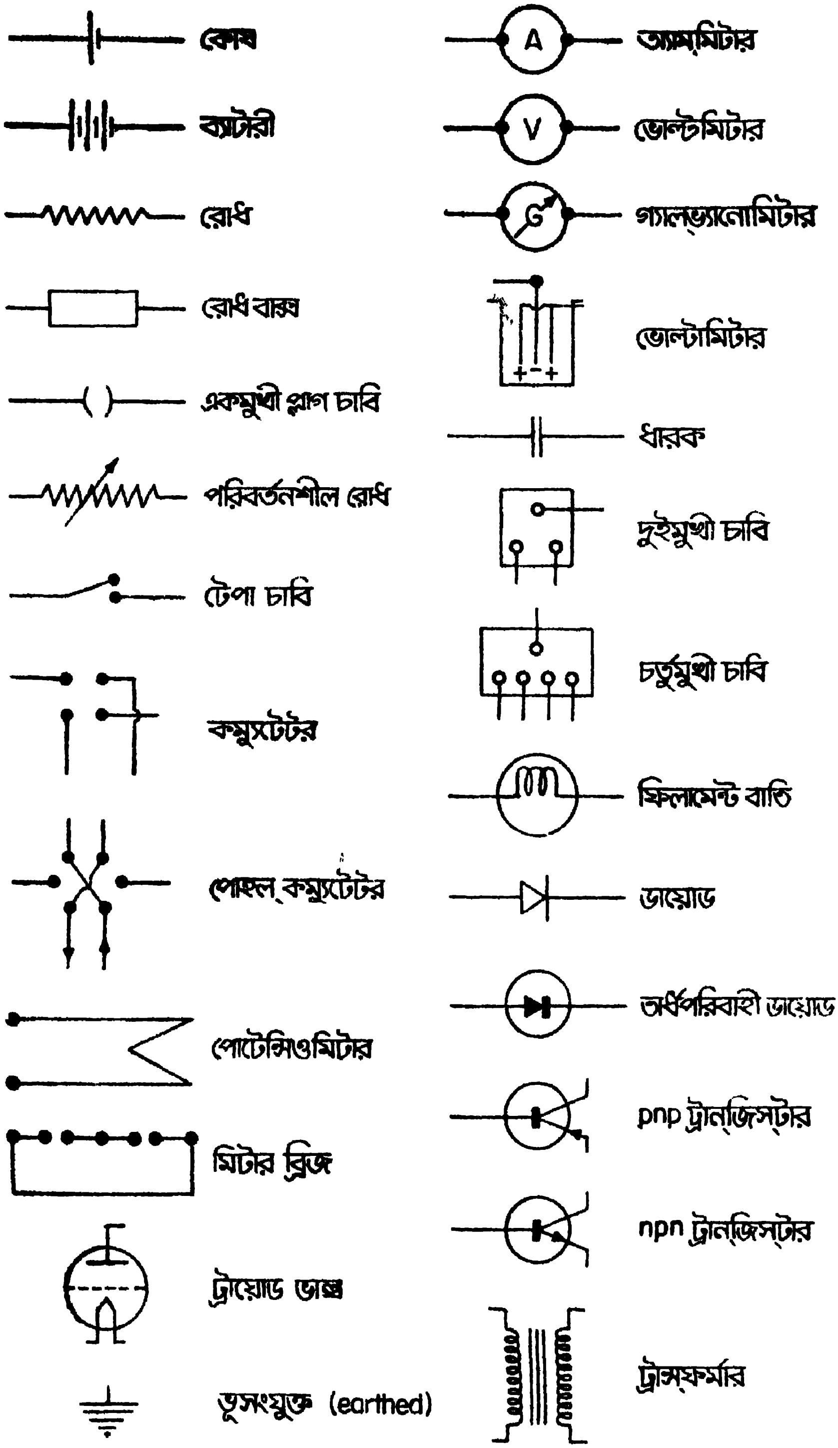
এই সূত্রকে 'হুইটস্টোনের সাম্যাবস্থা' (Wheatstone's balanced condition) বলে। এই সূত্রে যে কোন তিনটি রোধের মান (P, Q ও R) জানা থাকিলে, চতুর্থ রোধটির মান (S) জানা যাইতে পারে।

এই নীতিই 'হুইটস্টোন নীতি' নামে পরিচিত। মিটার ব্রিজ, পোস্ট অফিস বাক্স ইত্যাদি বিদ্যুৎ সংক্রান্ত পরীক্ষায় যে যন্ত্রগুলি ব্যবহৃত হয়, সেগুলি এই নীতির উপর ভিত্তি করিয়াই গঠিত। ইহাদের সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা পরবর্তী অধ্যায়ে যথাযথস্থানে করা হইবে।

8·8 বৈদ্যুতিক পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রাদি ও সরঞ্জাম-গুলির প্রতীক চিহ্ন (Conventional symbols of the accessories used in electrical circuits)

বৈদ্যুতিক পরীক্ষায় কোষ, চাবি, গ্যালভ্যানোমিটার ইত্যাদি নানা সরঞ্জাম ও যন্ত্রাদির প্রয়োজন হয়। যে কোন বৈদ্যুতিক পরীক্ষায় বর্তনীর ছবি (circuit diagram) দেওয়া একান্ত বাধ্যতামূলক। সেই ছবিতে যন্ত্রগুলিকে নানা প্রতীকের সাহায্যে প্রদর্শন করা হয়। সাধারণভাবে, সর্বজনগ্রাহ্য যে সকল প্রতীকচিহ্ন এই কার্যে ব্যবহৃত হয়, তাহাদের একটি তালিকা নিম্নে দেওয়া হইল। এই প্রতীকচিহ্নগুলি বর্তনী অঙ্কন করিবার সময়ে ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়।

[পরবর্তী পৃষ্ঠায় চিত্র দ্রষ্টব্য।]


কোষ
ব্যাটারী
রোধ
রোধ বাক্স
একমুখী প্লাগ চাবি
পরিবর্তনশীল রোধ
টেপা চাবি
কম্যুটেটর
পোহল কম্যুটেটর
পোটেনসিওমিটার
মিটার ব্রিজ
ট্রায়োড ভাল্ব
ভূসংযুক্ত (earthed)
A
অ্যামমিটার
V
ভোল্টমিটার
G
গ্যালভ্যানোমিটার
ভোল্টামিটার
ধারক
দুইমুখী চাবি
চতুর্মুখী চাবি
ফিলামেন্ট বাতি
ডায়োড
অর্ধপরিবাহী ডায়োড
pnp ট্রানজিস্টার
npn ট্রানজিস্টার
ট্রান্সফর্মার

নবম অধ্যায়

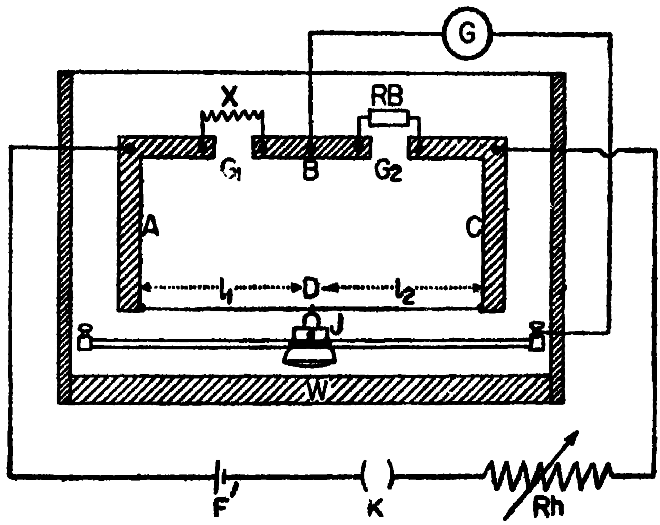
বিদ্যুৎসংক্রান্ত পরীক্ষাসমূহ
(Experiments on Electricity)

9·1 মিটার ব্রিজ এবং উহার প্রান্তিক ত্রুটি নির্ণয় (Metre Bridge and determination of its end corrections)

কোন পরিবাহীর সাধারণ রোধ মাপিবার জন্য পরীক্ষাগারে যে যন্ত্র সাধারণতঃ ব্যবহৃত হয়, তাহাকে 'মিটার ব্রিজ' বলে এবং ৪·7-এ বর্ণিত হুইটস্টোন নীতির উপর ভিত্তি করিয়াই ইহার ব্যবহার হয়।

মিটার ব্রিজের গঠন

ইহাতে এক মিটারের কিছু বেশী লম্বা একটি কাঠের পাটাতনের (W) উপর তিনটি মোটা তামার পাত আটকানো থাকে, (A, B ও C)। A ও B পাত দুইটির এবং B ও C পাত দুইটির মধ্যে যথাক্রমে দুইটি ফাঁক (G_1 ও G_2) থাকে (চিত্র 9.1)। এই দুইটি ফাঁকের একটিতে, যে পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করিতে হইবে, তাহাকে যুক্ত করা হয় (X)



চিত্র 9.1 : মিটার ব্রিজ

এবং অপর ফাঁকে একটি জানা রোধবাক্স (RB) লাগানো হয়। একটি একমিটার লম্বা ও সরু সমব্যাসের ম্যাঙ্গানীজ তার টান টান ভাবে কাঠের পাটাতনের উপর লাগানো থাকে। ঐ তারের ঠিক পাশেই একটি পিতলের রড থাকে, যাহার দুই প্রান্তে দুইটি সংযোজক স্ক্রু লাগানো থাকে। একটি চলনক্ষম জকিকে (J) ঐ রডের উপর চলাচল করানো যায় এবং জকির সঠিক অবস্থান উহার সংলগ্ন একটি সূচকের সাহায্যে (যাহা একটি

স্কেলকে স্পর্শ করিয়া থাকে) নির্ণয় করা যায়। জকির উপর একটি বোতামযুক্ত ধাতব দণ্ড থাকে। ঐ দণ্ডটিকে বোতামের সাহায্যে টিপিলে, জকিটি তারটিকে স্পর্শ করে এবং স্পর্শবিন্দুর সঠিক অবস্থান, স্কেলের পাঠ হইতে জানা যায়।

চিত্র 9.1-এ প্রদর্শিত বর্তনী অনুযায়ী একটি কোষকে (E) একটি চাবি (K) ও একটি রিয়োস্ট্যাটের (Rh) মাধ্যমে যুক্ত করা হয়। একটি গ্যালভ্যানোমিটারকে (G) B পাতের সহিত যুক্ত সংযোজক স্ক্রু এবং জকির সহিত যুক্ত করা হয়। জানা রোধবাক্স (RB) হইতে একটি উপযুক্ত মানের রোধ (R) তুলিয়া, আজানা মানের রোধটি (X) যথাস্থানে থাকিলে দেখা যাইবে যে, জকিটিকে তারের উপর ক্রমশঃ সরাইলে, তারের উপর একটি বিন্দু (D) পাওয়া যাইবে, যেখানে জকিটিকে তারের সহিত স্পর্শ করাইলে, গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ দেখা যাইবে না। যখন এই অবস্থা পাওয়া যায়, তখন জকি দ্বারা বিভক্ত তারটির দুইটি অংশ এবং দুইটি রোধ, এই চারিটি অংশ হুইটস্টোন ব্রিজের (8·7) চারিটি বাহুর রোধের কাজ করে। এই অবস্থায়, হুইটস্টোন ব্রিজের সর্তানুযায়ী,

$$\frac{A \text{ ও } B\text{-এর মধ্যে রোধ}}{B \text{ ও } C\text{-এর মধ্যে রোধ}} = \frac{A \text{ ও } D\text{-এর মধ্যে রোধ}}{D \text{ ও } C\text{-এর মধ্যে রোধ}}$$

A ও B এর মধ্যে রোধের পরিমাণ হইল অজানা রোধ (X) এবং B ও C-এর মধ্যে রোধের পরিমাণ জানা রোধ (R)। যেহেতু তারটি সমব্যাসসম্পন্ন, ইহার প্রতি একক দৈর্ঘ্যের রোধ (ρ) ধ্রুবক। যদি বামপ্রান্ত হইতে D বিন্দুর দূরত্ব l_1 সেমি হয়, তাহা হইলে AD দৈর্ঘ্যের তারের রোধ $l_1\rho$ ও DC দৈর্ঘ্যের তারের রোধ $l_1\rho$ সুতরাং,

$$\frac{X}{R} = \frac{l_1\rho}{l_2\rho} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{(100-l_1)} \quad [\text{ যেহেতু } l_2 = 100 - l_1]$$

$$\therefore \quad X = R \cdot \frac{l_1}{100 - l_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.1a)$$

যেহেতু, R এর মান জানা থাকে এবং l_1-এর মান স্কেল হইতে পাওয়া যায়, সুতরাং অজানা রোধের মান (X) সহজেই পাওয়া যায়।

মিটার ব্রিজের প্রান্তিক ত্রুটি

মিটার ব্রিজের কার্যকরী সূত্র (সমীকরণ 9.1a) নির্ণয়ের সময়ে ইহা ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে, তামার পাতগুলির এবং তামার তার ও পাতের সংযোগস্থলে কোন রোধ নাই। অধিকন্তু ইহাও ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে, তারের দুই প্রান্তবিন্দু যথাক্রমে স্কেলের শূন্য দাগ ও 100 দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে এই অনুমানগুলি সত্য নয়। ইহার জন্য তারের বাম ও ডান প্রান্তে কিছু রোধ কার্যকরী থাকে যাহার মান যথাক্রমে λ_1 ও λ_2 সেমি তারের দৈর্ঘ্যের রোধের সমান। এই রোধদ্বয়কে ব্রিজের প্রান্তিক ত্রুটি বলে (end corrections)।

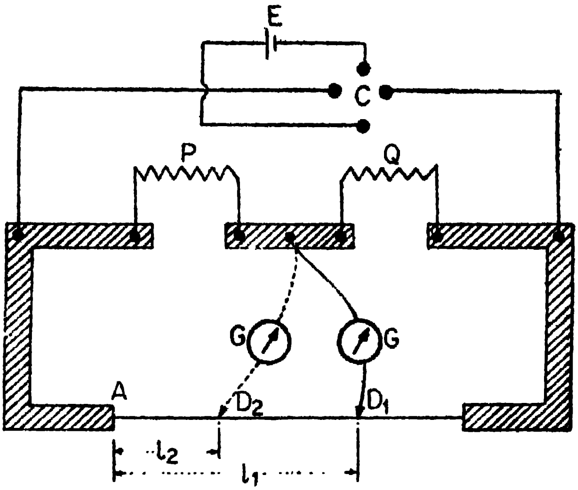
প্রান্তিক ত্রুটি নির্ণয়ের মূলনীতি

মিটার ব্রিজের দুইটি ফাঁকে যদি যথাক্রমে P ও Q মানের দুইটি জানা রোধ যুক্ত করা

হয় , এবং প্রথম ক্ষেত্রে যদি তারের D_1 অবস্থানে জকি রাখিলে, গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ না ঘটে ($AD_1=l_1$) তাহা হইলে, হুইটস্টোনের সূত্রানুযায়ী (চিত্র 9.2)।

$$\frac{P}{Q}=\frac{l_1+\lambda_1}{(100-l_1)+\lambda_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.1\text{ b})$$

আবার, P ও Q-কে পরস্পর স্থান পরিবর্তন করিয়া, পুনরায়, যদি তারের D_2 বিন্দুতে ($AD_2=l_2$) জকি রাখিলে, গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ না ঘটে, তাহা হইলে,



চিত্র 9.2 : মিটার ব্রিজের প্রান্তিক ত্রুটি নির্ণয়

$$\frac{Q}{P}=\frac{l_2+\lambda_1}{(100-l_2)+\lambda_2} \quad (9.1\text{c})$$

সমীকরণ (9.1 b) ও (9.1 c) হইতে

$$\lambda_1=\frac{l_1-\frac{P}{Q}.\,l_2}{\frac{P}{Q}-1} \quad (9.1\text{d}) \quad \text{এবং } \lambda_2=\frac{\frac{P}{Q}\,l_1-l_2}{\frac{P}{Q}-1}-100 \quad (9.1\text{e})$$

এই সমীকরণদ্বয় হইতে, ব্রিজের প্রান্তিক ত্রুটির মান নির্ণয় করা যায়।

বর্তনী সংযোজন (Connection of the circuit)

চিত্র 9.2-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনী সংযোজন করা হইল। ব্রিজের দুইটি ফাঁকে P ও Q-এর মান এমন লওয়া হইল, যাহাতে $P/Q=10$ বা বেশী হয়। একটি কমুটেটর কোষের সহিত যুক্ত করা হইল। অন্যান্য অংশের সংযোজন চিত্রানুযায়ী করা হইল।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) জকিকে প্রথমে তারের একেবারে বামপ্রান্তে এবং পরে একেবারে ডানপ্রান্তে

সংস্পর্শে আনিলে যদি দেখা যায় যে, গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ বিপরীত হয়। তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, বর্তনীর সংযোগ ঠিক আছে।

(ii) জকিকে সরাইয়া তারের উপর এমন স্থানে (D_1) আনিতে হইবে, যাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ না ঘটে। এই অবস্থায় D_1 বিন্দুর দূরত্ব, তারের বামপ্রান্ত (A) হইতে, স্কেলের সাহায্যে লইতে হইবে। এই দূরত্ব ধরা যাউক $AD_1=l_1$ সেমি।

(iii) P ও Q-এর স্থান পরিবর্তন করিয়া অনুরূপভাবে তারের উপর D_2 বিন্দু নির্ণয় করা হইল, যেখানে জকি রাখিলে, গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ ঘটে না। D_2 বিন্দুর দূরত্ব, তারের বামপ্রান্ত (A) হইতে $AD_2=l_2$ সেমি।

(iv) P ও Q-এর মান পরিবর্তন করিয়া উহাদের অনুপাত (P/Q) 20 এবং 30 করিয়া, পরীক্ষাটি পুনরায় করা যাইতে পারে।

(v) প্রতিক্ষেত্রে পাঠ লইবার সময়ে কম্যুটেটরের (C) সাহায্যে প্রবাহকে একমুখী ও বিপরীতমুখী করিয়া পাঠ লইতে হইবে।

(vi) l_1 ও l_2-এর মান নির্ণয় করিয়া এবং P ও Q-এর অনুপাতের মান জানিয়া, সমীকরণ (9.1 d ও 9.1 c) হইতে প্রান্তিক ত্রুটির (λ_1 ও λ_2) মান নির্ণয় করা যায়।

ফল (Results) :

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বামফাঁকে প্রযুক্ত রোধ P ওহম্ [অথবা Q]	ডানফাঁকে প্রযুক্ত রোধ Q ওহম্ [অথবা P]	দুই রোধের অনুপাত P/Q	A বিন্দু হইতে শূন্য বিক্ষেপ স্থিতির (null point) অবস্থানের দূরত্ব			বামপ্রান্তের প্রান্তিক ত্রুটির (λ_1) মান (সেমি)	ডানপ্রান্তের প্রান্তিক ত্রুটির মান (λ_2) মান (সেমি)	λ_1-এর গড় মান (সেমি)	λ_2-এর গড় মান (সেমি)
				প্রবাহ একমুখী (সেমি)	প্রবাহ বিপরীতমুখী (সেমি)	গড় দূরত্ব (সেমি) l_1 বা l_2				
1	10	1	10	—	—	—	—	—		
2	20	1	20	—	—	—	—	—		
			30	—						
		20	20							
		30	30							

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9.1 d) ও (9.1 e) হইতে,

$$\lambda_1 = \frac{l_1 - \frac{P}{Q} l_2}{\frac{P}{Q} - 1} \quad \text{এবং} \quad \lambda_2 = \frac{\frac{P}{Q} l_1 - l_2}{\frac{P}{Q} - 1} - 100$$

উপরিউক্ত সারণী হইতে P/Q-এর মান এবং l_1 ও l_2-এর মান লইয়া λ_1 ও λ_2-এর মান নির্ণয় করা যায়।

$\therefore \quad \lambda_1 =$ ... সেমি

$\lambda_2 =$ ... সেমি

সতর্কতা (Precautions) :

(i) P/Q এর মান 10-এর কম হওয়া বাঞ্ছনীয় নয়। সেক্ষেত্রে l_1 ও l_2-এর মানের পার্থক্য খুব কম হইবে।

(ii) P ও Q-কে ফাঁকে মোটা তারের সাহায্যে সংযোগ স্থাপন করা বাঞ্ছনীয়।

[এই পরীক্ষার প্রশ্নোত্তর পরে মিটার ব্রিজের সব পরীক্ষার শেষে একত্র দেওয়া হইয়াছে।]

9 2 মিটার ব্রিজের সাহায্যে কোন পরিবাহী তারের উপাদানের রোধাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the specific resistance of the material of a wire with the help of a metre bridge)

মূলনীতি (Theory) :

কোন বস্তুর একক প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একক দৈর্ঘ্যের যে রোধ, তাহাকেই উহার রোধাঙ্ক (specific resistance) বলে। সুতরাং একটি পরিবাহী তারের দৈর্ঘ্য যদি L সেমি এবং ব্যাস যদি d সেমি হয় এবং ঐ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারটির রোধ যদি R ওহম্ হয়, তাহা হইলে, তারটির উপাদানের রোধাঙ্ক (ρ) হইবে

$$R = \rho \frac{L}{\pi d^2/4}$$

$$\text{বা,} \quad \rho = \frac{\pi d^2 R}{4L} \qquad \ldots \qquad (9.2a)$$

একটি মিটার ব্রিজের সাহায্যে, একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের রোধ (R) যদি নির্ণয় করা যায়, তাহা হইলে তারটির দৈর্ঘ্য (L) ও ব্যাস (d) মাপিয়া, উহার উপাদানের রোধাঙ্ক (ρ) এর মান পাওয়া যাইবে।

তারটির রোধের মান (R) নির্ণয় করিতে হইলে, মিটার ব্রিজের সাধারণ সূত্রের সাহায্য লইতে হইবে। একটি জানা মানের রোধবাক্স, ব্রিজের একটি ফাঁকে (বাম) স্থাপন করিয়া অপর ফাঁকে (ডান), ঐ তারটিকে লাগাইয়া, ব্রিজের তারের উপর জকির অবস্থান-বিন্দু বাহির করিতে হইবে, যেখানে জকি রাখিলে, গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ ঘটে না। যদি জকির ঐ বিন্দুর দূরত্ব ব্রিজের বামপ্রান্ত হইতে λ সেমি দূরে হয়, এবং রোধবাক্স হইতে লওয়া রোধের মান যদি Q হয় তাহা হইলে,

$$\frac{Q}{R} = \frac{l}{100-l}$$

বা, $$R = Q \times \frac{(100-l)}{l} \qquad (9.2b)$$

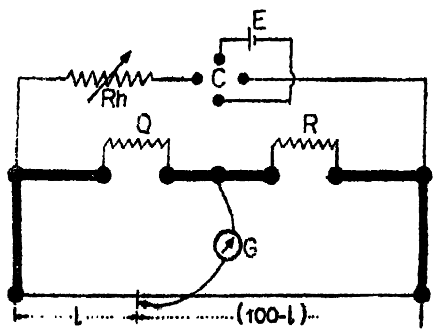
রোধাঙ্কের একক 'ওহ্‌ম্-সেন্টিমিটার'।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

মিটার ব্রিজ ; কোষ ; রোধবাক্স ; স্ক্রু-গেজ ; মিটার স্কেল ; রিয়োষ্ট্যাট ; কম্যুটেটর ; গ্যালভ্যানোমিটার ; পরীক্ষণীয় লম্বা তার (অন্তত 80 সেমি)।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) পরীক্ষাকার্যের জন্য চিত্র 9·3-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনী-সংযোগ করিতে হইবে। যে তারের রোধ মাপিতে হইবে (এবং রোধাঙ্ক), তাহার প্রায় 60/70 সেমি দৈর্ঘ্য লইয়া, তারটির দুইপ্রান্তে 1 সেমি মত দৈর্ঘ্য বাঁকাইয়া রাখা হইল। এই বাঁকানো অংশটুকু ব্রিজের সংযোজক স্ক্রু-এর ভিতর রাখিতে হইবে। তারটির দৈর্ঘ্য (L) মাপিবার সময়ে, ঐ বাঁকানো অংশটুকু বাদ দিয়া মাপিতে হইবে।



চিত্র 9.3 : মিটার ব্রিজের সাহায্যে রোধ ও রোধাঙ্ক নির্ণয়

(ii) 9·1 পরীক্ষায় বর্ণিত ব্যবস্থানুযায়ী, ব্রিজের একটি ফাঁকে ঐ পরীক্ষণীয় তারটি (R) এবং অপর ফাঁকে একটি রোধবাক্স (Q) লাগানো হইল। ঐ বাক্স হইতে একটি উপযুক্ত মানের রোধ (Q) উঠাইয়া, জকির সাহায্যে ব্রিজের তারের উপর শূন্য বিক্ষেপী অবস্থান বিন্দু নির্ণয় করা হইল। ধরা যাউক, ঐ বিন্দুরদূরত্ব l_1 সেমি।

(iii) কম্যুটেটারের সাহায্যে প্রবাহের দিক পরিবর্তন করিয়া, পুনরায় ঐ মান নির্ণয় করা হইল এবং এই দুই মানের গড় মান লওয়া হইল।

(iv) এইভাবে, রোধবাক্স হইতে অন্ততঃ তিনটি উপযুক্ত মানের রোধ তুলিয়া, তিনবার এইরূপ পাঠ লওয়া হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, Q-এর মান এমন লওয়া হয়, যাহাতে ব্রিজের তারের উপর শূন্য বিক্ষেপী অবস্থান 40 সেমি হইতে 60 সেমি-এর মধ্যে থাকে।

(v) এরপর, ব্রিজের ফাঁক দুইটিতে, পরীক্ষণীয় তার ও রোধবাক্সের স্থান পরিবর্তন করিয়া, পদ্ধতি (ii), (iii) ও (iv)-এর মত পুনরায় পাঠ লওয়া হইল। রোধবাক্স যে ফাঁকেই থাকুক না কেন, উহা হইতে উভয় ক্ষেত্রেই মানের রোধগুলিকে (Q) তুলিতে হইবে। এই দ্বিতীয় অবস্থায় যদি শূন্য বিক্ষেপী অবস্থানের দূরত্ব l_2 সেমি হয়, তাহা হইলে,

প্রথম ক্ষেত্রে, যখন তারটি ব্রিজের বাম ফাঁকে থাকে,

তখন, $\frac{R}{Q}=\frac{l_1}{100-l_1}$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, যখন তারটি ব্রিজের ডান ফাঁকে থাকে,

তখন, $\frac{Q}{R}=\frac{l_2}{100-l_2}$

(vi) এই দুইটি ক্ষেত্র হইতে পরীক্ষণীয় তারটির রোধের গড় মান (R) নির্ণয় করা হইল।

(vii) তারটির দুই প্রান্তের বাঁকা অংশ বাদ দিয়া উহার দৈর্ঘ্য (L) একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে নির্ণয় করা হইল এবং তারটির ব্যাস একটি স্ক্রু-গেজের সাহায্যে অন্ততঃ 5টি স্থানে, পরস্পর লম্বভাবে নির্ণয় করিয়া, গড় ব্যাস-এর মান (d) নির্ণয় করা হইল।

(viii) তারের রোধ (R), দৈর্ঘ্য (L) ও ব্যাস (d)-এর মান নির্ণয় করিয়া, সমীকরণ (9.2a)-এর সাহায্যে, তারটির উপাদানের রোধাঙ্ক (ρ)-এর মান নির্ণয় করা হইল।

ফল (Results)

তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস নির্ণয়

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	তারটির দৈর্ঘ্য (সেমি)	তারটির দৈর্ঘ্যের গড় মান (সেমি)
1		
2		
3		

স্ক্রু-গেজের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান (পিচ)= ... মিমি

স্ক্রু-গেজে বৃত্তীয় স্কেলের সংখ্যা = ...

স্ক্রু-গেজের লঘিষ্ঠ মাপের পরিমাণ= ... মিমি

সারণী--2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ (সেমি)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ (সেমি)	মোট পাঠ (সেমি) ব্যাস	গড় ব্যাস (d) (সেমি)
1 (a)				
(b)				
2 (a)				
(b)				
3 (a)				
(b)				

[(a) ও (b) পাঠ একই স্থানে পরস্পর লম্বভাবে গৃহীত।]

পরীক্ষণীয় তারের রোধ-এর মান নির্ণয়

সারণী—3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ব্রিজের বাম ফাঁকে প্রযুক্ত রোধ (ওহম্)	ব্রিজের ডান ফাঁকে প্রযুক্ত রোধ (ওহম্)	শূন্য বিক্ষেপী অবস্থায় (null point) তারের উপর জকির অবস্থানের পাঠ (সেমি) যখন প্রবাহ (সেমি-এ)			অজানা রোধের মান $=R$ (ওহম্)	R-এর গড় মান (ওহম্)
			সোজামুখী	বিপরীতমুখী	গড়দৈর্ঘ্য		
1	অজানা তার (R)	রোধবাক্স হইতে (Q)	—	—	— (l_1)	—	
2	,,	Q-এর অন্য মান	—	—	—	—	
3	,,	,,	—	—	—	—	
4	রোধবাক্স হইতে (Q)	অজানা তার (R)	—	—	— (l_2)	—	
5	Q-এর অন্য মান	,,	—	—	—	—	
6	,,	,,	—	—	—	—	

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9·2 a) হইতে

$$\text{রোধাঙ্ক } (\rho)=\frac{\pi d^2 R}{4L}=\ldots\ldots\ldots\text{ওহম্-সেমি}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) শূন্য বিক্ষেপী অবস্থান যেন ব্রিজের তারের যতটা সম্ভব মাঝামাঝি স্থানে হয় (40 সেমি-এর কম বা 60 সেমি-এর বেশী যেন না হয়)।

(ii) রোধবাক্সে সমস্ত প্লাগগুলি যেন পাঠ লওয়ার সময়ে দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে (যেটি তোলা হয়েছে, সেইটি ব্যতীত)।

(iii) স্ক্রু-গেজের সাহায্যে ব্যাস নির্ণয়কালে, তারটির বিভিন্ন অংশে ব্যাস মাপিতে হইবে এবং স্ক্রু-গেজের কোন শূন্য ত্রুটি থাকিলে, তাহার জন্য প্রয়োজনীয় সংশোধন করিতে হইবে।

(iv) পাঠ লওয়ার সময় ব্যতীত অন্য সময়ে বর্তনীতে প্রবাহ চালু না রাখাই উচিত।

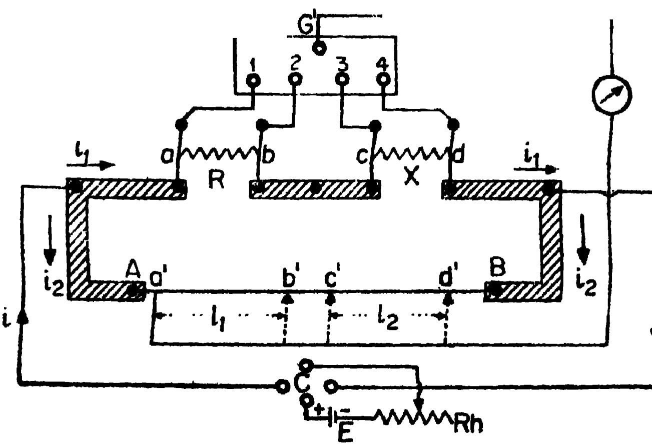
প্রশ্নোত্তর

[মিটার ব্রিজের সব পরীক্ষার শেষে একত্রে প্রশ্নোত্তর সন্নিবেশিত হইয়াছে]

9 3 মিটার ব্রিজের সাহায্যে বিভব-পাত পদ্ধতি দ্বারা দুইটি নিম্নমানের রোধের তুলনা (Comparison of the values of two low resistances by potential drop method, using a metre bridge)

মূলনীতি (Theory) :

দুইটি নিম্নমানের রোধ ab ও cd যাহাদের মান যথাক্রমে R ও X, যদি শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত হয় এবং উহাদের সহিত মিটার ব্রিজের তার AB-কে যদি সমান্তরালভাবে



চিত্র 9.4 : দুইটি নিম্নমানের রোধের তুলনা

যুক্ত করা হয়, তাহা হইলে এই সমন্বয় যখন চিত্র 9.4-এ প্রদর্শিত উপায়ে একটি

কোষের সহিত যুক্ত হয়, তখন কোষ হইতে মূল প্রবাহ i দুই ভাগে বিভক্ত হইয়া দুই শাখা বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। উহার এক অংশ i_1 বর্তনীর মধ্যে নিম্নমানের রোধ-শাখায় প্রবাহিত হয় এবং অপর অংশ i_2, ব্রিজের তার AB-এর মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। যদি ব্রিজের তার AB-এর একক দৈর্ঘ্যের রোধের মান ρ হয় এবং যদি a, b, c, d বিন্দু চারিটির সহিত সমবিভবে আনা, ব্রিজের তারের উপর বিন্দুগুলি যথাক্রমে a', b', c', d' হয়, তাহা হইলে,

$$a'\ b'\text{-এর মধ্যে বিভবপ্রভেদ} = l_1\rho i_2 \quad (\text{ যখন } l_1 = a'\ b'\ ),$$

$$\text{এবং } c'\ d'\text{-এর মধ্যে বিভবপ্রভেদ} = l_2\rho i_2 \quad (\text{ যখন } l_2 = c'\ d'\ )।$$

কিন্তু নিম্নমানের রোধ শাখায় প্রবাহমাত্রা i_1 হওয়ায়,

$$R \text{ রোধের } a\ b \text{ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভবপ্রভেদ} = Ri_1$$

$$\text{এবং } X \text{ রোধের } c\ d \text{ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভবপ্রভেদ} = Xi_1,$$

যেহেতু a ও a' সমবিভববিন্দু এবং অনুরূপভাবে, b ও b' ; c ও c' এবং d ও d' সমবিভববিন্দু,

$$\text{সেজন্য, } Ri_1 = l_1\rho i_2$$

$$\text{এবং } Xi_1 = l_2\rho i_2$$

$$\text{সুতরাং } \frac{R}{X} = \frac{l_1\rho}{l_2\rho} = \frac{l_1}{l_2}$$

অর্থাৎ, l_1 ও l_2-এর মান নির্ণয় করিতে পারিলে, রোধ R ও X-এর মানের অনুপাত নির্ণয় করা যাইবে এবং যদি যে কোন একটি রোধের মান (X বা R) জানা থাকে, তাহা হইলে, অপর রোধের মান নির্ণয় করা যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

মিটার ব্রিজ ; দুইটি নিম্নমানের প্রমাণ রোধ ; কোষ ; কম্যুটেটর ; চতুর্মুখী চাবি : রিয়োষ্ট্যাট ; গ্যালভানোমিটার।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.4-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ করা হইল। নিম্নমানের রোধযুক্ত শাখাবর্তনীতে ব্যবহৃত সংযোগকারী তারগুলি স্বল্পদৈর্ঘ্যের এবং মোটা হওয়া বাঞ্ছনীয়।

(ii) দুইটি রোধের যদি পৃথক বিভবপ্রান্তবিন্দু (Potential leads) থাকে, তাহা হইলে সেগুলিকে চিত্রে প্রদর্শিত উপায়ে, চতুর্মুখী চাবির সহিত যুক্ত করা হইল।

(iii) রিয়োষ্ট্যাটের রোধের মান ক্রমশঃ কমাইয়া গ্যালভ্যানোমিটারকে 2-3 মিলিমিটারের মধ্যে বিক্ষেপহীন অবস্থায় আনিয়া, সমগ্র ব্রিজটিকে সুবেদী (sensitive) করিয়া লওয়া হইল।

(iv) চতুর্মুখী চাবির 1, 2, 3, 4 বিন্দুর সহিত ক্রমান্বয়ে, গ্যালভ্যানোমিটার সংযোগকারী বিন্দু G'-এর সহিত যুক্ত করিলে ব্রিজের AB তারের উপর যথাক্রমে

চারিটি বিন্দু a', b', c', d' পাওয়া যাইবে, যেখানে জকির সংযোগ সাধনে, গ্যাল-ভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যাইবে। ব্রিজ সংলগ্ন স্কেল হইতে $a'b'$ এবং $c'd'$-এর মধ্যেকার দূরত্ব মাপা হইল। এই দূরত্বদ্বয় যদি l_1 ও l_2 হয়, তাহা হইলে, সূত্র অনুযায়ী $\frac{R}{X} = \frac{l_1}{l_2}$

(v) R ও X-কে পরস্পর স্থান পরিবর্তন করিয়া অনুরূপভাবে সমগ্র পাঠ পুনরায় লওয়া হইল।

(vi) এইরূপে মূলপ্রবাহ পরিবর্তন করিয়া (রিয়োষ্ট্যাটের সাহায্যে) আরো দুইটি প্রবাহমাত্রার মানের জন্য সমগ্র পরীক্ষাটি [(i) হইতে (v) পর্যন্ত] পুনরায় সম্পন্ন করা হইল।

(vii) এইরূপে প্রাপ্ত R/X-এর সকল মান হইতে, গড় লইয়া R/X-এর অনুপাতের গড় মান নির্ণয় করা হইল।

(viii) প্রতিটি পাঠ লওয়ার সময়ে কম্যুটেটরের সাহায্যে, প্রবাহের দিক পরিবর্তন করিতে হইবে এবং উহাদের পাঠ হইতে গড় পাঠ লইতে হইবে।

ফল (Results) : গ্যালভ[illegible]পহীন অবস্থানের পাঠ

মূল প্রবাহমাত্রা	ব্রিজের বামফাঁকে রোধ (ওহম্)	ব্রিজের ডানফাঁকে রোধ (ওহম্)	প্রবাহ মুখ	সংশ্লিষ্ট বিন্দুর জন্য গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থান: a' বিন্দু (সেমি)	গড় মান (সেমি)	b' বিন্দু (সেমি)	গড় মান (সেমি)	c' বিন্দু (সেমি)	গড় মান (সেমি)	d' বিন্দু (সেমি)	গড় মান (সেমি)
কম	R	X	সোজা (d)	—	—	—	—	—	—	—	—
			বিপরীত (r)	—		—		—		—	
	X	R	সোজা (d)	—	—	—	—	—	—	—	—
			বিপরীত (r)	—		—		—		—	
মাঝারী	R	X	সোজা (d)	—	—	—	—	—	—	—	—
			বিপরীত (r)	—		—		—		—	
	X	R	সোজা (d)		—	—	—	—	—	—	—
			বিপরীত (r)	—		—		—		—	
বেশী	R	X	সোজা (d)	—	—	—	—	—	—	—	—
			বিপরীত (r)	—		—		—		—	
	X	R	সোজা (d)	—	—	—	—	—	—	—	—
			বিপরীত (r)	—		—		—		—	

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	a' (সেমি)	b' (সেমি)	c' (সেমি)	d (সেমি)	$l_1 = b' - a'$ (সেমি)	$l_2 = d' - c'$ (সেমি)	$\frac{R}{X} = \frac{l_1}{l_2}$ বা l_2/l_1	গড় R/X-এর মান
1								
2								
3								
4								
5								
6								

হিসাব (Calculation) :

প্রথম ক্ষেত্রে, $R/X = l_1/l_2 =$ … …

ইত্যাদি … …

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, (স্থান পরিবর্তনের পর) $R/X = l_2/l_1$ … …

ইত্যাদি … …

সতর্কতা (Precautions) :

(i) নিম্নমানের রোধগুলির উপর যথেষ্ট পরিমাণ বিভবপাতন পাইবার জন্য, বর্তনীতে যেন প্রবাহমাত্রা খুব কম না হয়।

(ii) মিটার ব্রিজের তারের অসমতাদরুন ত্রুটিহ্রাসের জন্য X ও R-এর অবস্থান অবশ্যই পরিবর্তন করা প্রয়োজন।

(iii) বর্তনীতে সংযোগকারী তারগুলি যথাসম্ভব ছোট এবং মোটা হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রশ্নোত্তর

[মিটার ব্রিজ সংক্রান্ত পরীক্ষাবলী নং 9.1, 9.2 ও 9.3]

প্র: এই যন্ত্রের নাম 'মিটার ব্রিজ' কেন ?

উ: হুইটস্টোন ব্রিজের এই বিশেষ গঠনে, একটি এক মিটার লম্বা তার ব্যবহৃত হয় বলিয়া ইহাকে 'মিটার ব্রিজ' বলে।

প্র: ব্রিজের তারটির কি সমব্যাসসম্পন্ন হওয়া প্রয়োজন ?

উ: হ্যাঁ, নচেৎ মূলনীতি প্রযোজ্য হইবে না যদি ρ-এর মান অসম হয়

প্র: ব্রিজে যদি রোধ ও গ্যালভ্যানোমিটারের স্থান পরস্পর পরিবর্তন করিয়া লাগানো হয়, তাহা হইলে কি পরীক্ষার অবস্থার কোন পরিবর্তন হইবে ?

উ: না, সেক্ষেত্রে মূল কার্যনীতির কোন পরিবর্তন ঘটিবে না এবং কার্যক্রম ও অপরিবর্তিত থাকিবে।

প্র: এই ব্রিজ কখন সর্বাপেক্ষা সুবেদী (sensitive) হয় ?

উ: যখন চারিটি বাহুর রোধ সমপর্যায়ের (same order) হয়।

প্র: এই ব্রিজের সাহায্যে কিরূপে মানের রোধ মাপা যায় ?

উ: ইহার সাহায্যে খুব উচ্চমানের বা খুব নিম্নমানের রোধ মাপা যায় না, মাঝামাঝি মানের রোধ মাপা যায় কারণ ব্রিজের চারিটি বাহুর রোধ সমপর্যায়ের হইলে, ব্রিজটি সুবেদী হয়।

প্র: রোধাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উ: উহার সংজ্ঞা (মূলনীতি) দ্রষ্টব্য।

প্র: তড়িৎ-পরিবাহিতা ও পরিবাহিতাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উ: রোধের (R) অনোন্যককে (1/R) 'পরিবাহিতা' ও রোধাঙ্কের (ρ) অনোন্যককে ($1/\rho$) 'পরিবাহিতাঙ্ক' বলে।

প্র: রোধাঙ্ক কিসের উপর নির্ভর করে ?

উ: পরিবাহীর রোধাঙ্ক উহার উষ্ণতা ও পদার্থের উপাদানের উপর নির্ভর করে। উহার পরিবাহীর দৈর্ঘ্য বা প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে না।

প্রঃ পাঠ লওয়ার সময়ে, গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা আনিতে কেন স্কেলের মাঝামাঝি পাঠ লওয়া হয় এবং কেন দুইটি ফাঁকে রোধকে স্থান পরিবর্তন করা হয় ?

উঃ প্রথমটি করা হয়, যাহাতে দৈর্ঘ্য মাপে আনুপাতিক ভুল কম হয় এবং দ্বিতীয়টি করা হয়, স্কেলের উপর চিহ্নিত সূচক যদি তারের স্পর্শবিন্দুর সহিত মিল না থাকে, তাহা দূরীভূত করিতে।

প্রঃ উষ্ণতা পরিবর্তনে রোধাঙ্কের মান কিরূপে পরিবর্তিত হয় ?

উঃ উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে, পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় (সাধারণতঃ) এবং উহার ফলে রোধাঙ্কের মানও বৃদ্ধি পাইবে।

প্রঃ নিম্নমানের রোধের পরিমাপে কেন বিভবপাতন পদ্ধতি অবলম্বন করা হয় ?

উঃ হুইটস্টোন ব্রিজ পদ্ধতি এক্ষেত্রে সুবেদী হয় না এবং বর্তনীতে যুক্ত তারগুলির রোধ সেক্ষেত্রে নিম্নমানের রোধের তুলনায় নগণ্য হয়।

প্রঃ নিম্নমানের রোধ বলিতে কিরূপ রোধ বুঝায় ?

উঃ সাধারণতঃ 1 ওহম্ অপেক্ষা কম মানের রোধকে বুঝায়।

প্রঃ কোষের তড়িচ্চালক বল পরিবর্তন করিলে বা নিম্নমানের রোধ বর্তনীতে সংযোগকারী তারগুলির দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিলে কি বিক্ষেপহীন অবস্থার (null point) কোন পরিবর্তন ঘটিবে ?

উঃ প্রথম ক্ষেত্রে কোন পরিবর্তন ঘটিবে না কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ঐ অবস্থা পরিবর্তিত হইয়া যাইবে।

প্রঃ এই পদ্ধতিতে কি দুইটি উচ্চমানের রোধ ব্যবহার করিয়া তাহাদের অনুপাত নির্ণয় করা যায় ?

উঃ না, সেক্ষেত্রে ব্রিজ অত্যন্ত দুর্বেদী (insensitive) হইয়া পড়িবে।

প্রঃ কি উপায়ে এই পরীক্ষায় ব্রিজকে সুবেদী করা যাইতে পারে ?

উঃ যদি নিম্নমানের রোধ বর্তনীতে একটু বেশী প্রবাহমাত্রা পাঠাইয়া বিভবপ্রভেদের মান বাড়ানো যায় এবং ব্রিজের তারের মধ্য দিয়া অল্প প্রবাহ পাঠানো যায়, তাহলে ব্রিজ সুবেদী হয়।

প্রঃ প্রকৃতপক্ষে এই পরীক্ষায় কি মাপা হয় ?

উঃ এখানে বিভবপাতন (Potential drop) মাপা হয় এবং উহা হইতে রোধের মান পাওয়া যায় (মূলনীতি দ্রষ্টব্য)।

প্রঃ মিটার ব্রিজের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে, তুল্যাঙ্ক রোধের মান কত ?

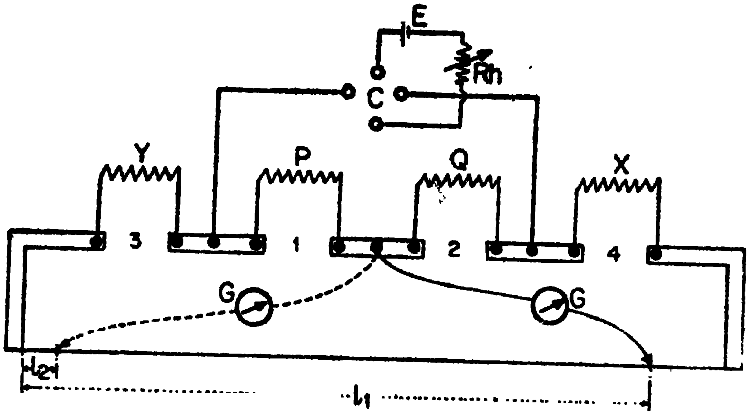
উঃ ইহার মান অবশ্যই 1 ওহমের কম হইবে যখন নিম্নমানের রোধগুলি যথাস্থানে যুক্ত হয়। ব্রিজের তারের রোধ যাহাই হউক না কেন, তুল্যাঙ্ক রোধ, সেক্ষেত্রে সর্বদা 1 ওহমের কম হইবে।

9·4 ক্যারি-ফস্টার পদ্ধতিতে ঐ ব্রিজের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ নির্ণয় (Measurement of the resistance per unit length of the wire of a bridge by Carey-Foster's method)

মূলনীতি (Theory) :

একটি ক্যারি-ফস্টার ব্রিজের মধ্যবর্তী ফাঁক দুইটিতে (1 ও 2) যদি দুইটি সমান মানের রোধ (1 ওহম্ প্রত্যেকটি) যোগ করিয়া (চিত্র 9.5), বাহিরের ফাঁক দুইটির একটিতে (নং 3) একটি তামার পাত অথবা রোধ Y লাগানো হয় এবং অপর

ফাঁকে (নং 4), একটি রোধবাক্স (*R. B.*) লাগানো হয়, তাহা হইলে, যখন রোধবাক্স হইতে একটি X মানের রোধ তুলিয়া, ব্রিজের তারে l_1 সেমি দূরে (বাম



চিত্র 9.5 : ক্যারি-ফস্টার ব্রিজ

প্রান্ত হইতে) গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থান (null point) পাওয়া যায়, তখন হুইটস্টোনের সূত্র অনুযায়ী

$$\frac{P}{Q}=\frac{Y+l_1\rho+\lambda_1}{X+(100-l_1)\rho+\lambda_2} \quad \cdots \quad (9.4a)$$

যখন, P ও Q ওহম্ ব্রিজের মধ্যবর্তী ফাঁকে যুক্ত রোধ

λ_1 ও λ_2 যথাক্রমে ব্রিজের প্রান্তিক ত্রুটি (বাম ও ডান প্রান্তে)

এবং ρ—ব্রিজের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ

পুনরায় যদি, X ও Y রোধ দুইটিকে স্থান পরিবর্তন করিয়া (P ও Q না বদলাইয়া) পুনরায় ব্রিজের তারে l_2 সেমি দূরে (বামপ্রান্ত হইতে) গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থান পাওয়া যায়, তাহা হইলে

$$\frac{P}{Q}=\frac{X+l_2\rho+\lambda_1}{Y+(100-l_2)\rho+\lambda_2} \quad \cdots \quad (9.4b)$$

সুতরাং $$\frac{P}{P+Q}=\frac{Y+l_1\rho+\lambda_1}{Y+100\rho+\lambda_1+\lambda_2}=\frac{X+l_2\rho+\lambda_1}{Y+100\rho+\lambda_1+\lambda_2}$$

(উভয় সমীকরণ হইতে)

অতএব, যেহেতু দুইটি হর সমান,

$\therefore \quad Y+l_1\rho+\lambda_1=X+l_2\rho+\lambda_1$

বা $\quad X-Y=\rho(l_1-l_2)$

বা, $$\rho=\frac{X-Y}{(l_1-l_2)} \quad (9.4c)$$

পরীক্ষাকার্যকালে যদি বাহিরের ফাঁকে একটি তামার পাত দ্বারা যুক্ত করা হয়, সেক্ষেত্রে ঐ রোধের মান শূন্য (অর্থাৎ $Y=O$)। তখন, সমীকরণ (9.3c) হইতে

$$\rho=\frac{X}{l_1-l_2} \quad (9.4d)$$

সুতরাং, X-এর মান এবং দুইটি বিক্ষেপহীন অবস্থার জন্য তারের জকির অবস্থান (l_1 ও l_2) জানা থাকিলে, তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধের মান (ρ) জানা যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

ক্যারি-ফস্টার ব্রিজ ; দুইটি প্রায় সমমানের রোধ (1 ওহম্-এর মত) ; রোধবাক্স (যাহাতে 1 ওহমের কম রোধও পাওয়া যায়) ; রিয়োস্টাট ; গ্যালভ্যানোমিটার ; কোষ ; কম্যুটেটার ও সংযোগকারী তার।

ক্যারি-ফস্টার ব্রিজ ঠিক মিটার ব্রিজেরই মত। শুধু এক্ষেত্রে ব্রিজে দুইটির পরিবর্তে চারটি ফাঁক থাকে, যেখানে মূলনীতিতে বর্ণনানুযায়ী, চারিটি রোধ লাগানো যায়। অন্যান্য সকল অংশের গঠন, মিটার ব্রিজেরই অনুরূপ।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.5-তে প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযারী বর্তনী সংযোগ সাধন করা হইল।

(ii) ব্রিজের 3নং ফাঁকে একটি মোটা তামার পাত লাগাইয়া এবং 4নং ফাঁকে একটি রোধবাক্স লাগাইয়া, ঐ বাক্সে সকল প্লাগগুলিকে ভালভাবে আটকাইয়া, যদি বিক্ষেপহীন অবস্থা দেখা যায়, দেখা যাইবে যে, বিক্ষেপহীন অবস্থা তখনই পাওয়া যায় যখন জকিটি তারের প্রায় মাঝামাঝি থাকে। অবশ্য ফাঁক নং 1 ও 2-তে দুইটি প্রায় সমমানের (1 ওহমের মত) রোধ লাগাইয়া লইতে হইবে।

(iii) রোধবাক্স হইতে যথাযথ মানের রোধ তুলিয়া, ব্রিজের তারের উপর জকি এমন জায়গায় স্থাপন করিতে হইবে, যাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যায়। সাধারণতঃ, রোধের মান এমন হওয়া উচিত যাহাতে ঐ অবস্থান স্কেলের পাঠের একপ্রান্তে পাওয়া যায়। সোজা ও বিপরীতমুখী প্রবাহ, উভয়ের জন্যই (কম্যুটেটরের সাহায্যে) এই পাঠ লইতে হইবে।

(iv) এইরূপে রোধবাক্স হইতে অন্ততঃ পাঁচটি বিভিন্ন মানের রোধ তুলিয়া পাঁচবার পাঠ লইতে হইবে। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, বিক্ষেপহীন অবস্থার জন্য স্কেলের পাঠ যেন 20 সেমি-এর বেশী বা 80 সেমি-এর কম না হয়।

(v) এরপরে, রোধবাক্সকে 3নং ফাঁকে বসাইয়া এবং 4নং ফাঁকে ঐ তামার পাতটি লাগাইয়া, পূর্বে গৃহীত রোধবাক্স হইতে লওয়া রোধগুলির জন্যই, পুনরায় স্কেলের পাঠ লইতে হইবে যখন গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা ঘটে। এক্ষেত্রে ঐ পাঁচটি পাঠ লইতে হইবে এবং পাঠ যেন 20 সেমি-এর কম হয়। প্রতিক্ষেত্রে সোজা ও বিপরীতমুখী প্রবাহের জন্য পাঠ লইতে হইবে।

(vi) সমীকরণ (9.4 d) হইতে অবশেষে, X-এর মান বসাইয়া ρ-এর মান নির্ণয় করিতে হইবে।

ফল (Results) :

P ও Q রোধের মান : $P=Q=1$ ওহম্

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	কর শষ	মান ানদিকের শষ প্রান্তে (4)	গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থায় স্কেলের পাঠ (সেমি)			$l_1 \sim l$ সমি	তা	একক রোধ ওহম্/সেমি	-এর গড় পাঠ ওহম্/সেমি
			সোজা প্রবাহ	বিপরীতমুখী প্রবাহ	গড় পাঠ (l_1 বা l_2)				
		X_1			—				
								—	
		O	—		—				
			—					—	
		X_2							
		O							
				—					
	X_i			—					
			—	—					
			—	—					
				—					
		X_i	—	—					
			—						

হিসাব (Calculation) :

সারণী 1 হইতে (l_1-l_2)-এর মান লইয়া সংশ্লিষ্ট রোধের (X) মান হইতে, সমীকরণ (9.4d) হইতে পাওয়া যায়—

$$\text{একক দৈর্ঘ্যের রোধ } (\rho)=\frac{X}{l_1\sim l_2}= \quad \dots \quad \dots \quad \text{ওহম্/সেমি}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) P ও Q-এর মান প্রায় সমান আছে কিনা তাহা প্রথমে পরীক্ষা করিয়া লওয়া প্রয়োজন। উহারা প্রায় সমান হইলে, পরীক্ষা-পদ্ধতির (ii) অনুযায়ী পাঠ প্রায় স্কেলের 50 সেমি-এর নিকট হইবে।

(ii) X-এর মান এরূপ হওয়া প্রয়োজন যে, যেন জকির পাঠ (স্কেলে) কখনোই 20 সেমি-এর বেশী বা 80 সেমি-এর কম না হয়। সেক্ষেত্রে, (l_1-l_2)-এর মান যতটা সম্ভব বেশী হইবে এবং পরীক্ষায় ভুল কম হইবে।

(iii) রোধবাক্সে প্লাগগুলি যেন সর্বদা যথেষ্ট আঁটভাবে লাগানো থাকে।

প্রশ্নোত্তর

প্র: l_1 ও l_2 এর মান স্কেলের শেষ প্রান্তের দিকে লওয়া হয় কেন ?

উ: 'সতর্কতা'-এ আলোচিত (ii) দ্রষ্টব্য

প্র: যদি P ও Q রোধের মান অসমান হয়, তাহা হইলে কি পরীক্ষাকার্য করা যাইবে ?

উ: না, সেক্ষেত্রে আলোচ্য মূলনীতি কার্যকরী হইবে না।

প্র: ρ-এর যে মান পাওয়া গেল, তাহাকে গড় পাঠ বলে কেন ?

উ: যেহেতু (l_1-l_2) দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারের ρ-এর মান নির্ণীত হয়, সেজন্য ঐ পাঠ একটি গড় পাঠ।

প্র: ρ এর মান কিসের উপর নির্ভর করে ?

উ: তারের ব্যাস ও উপাদানের উপর।

প্র: ρ-এর মান হইতে কি তারের আপেক্ষিক রোধক পাওয়া যাইবে ?

উ: হ্যাঁ, যদি তারের ব্যাস (d) জানা থাকে, তাহা হইলে উহার আপেক্ষিক রোধাঙ্ক (S) হইবে $\rho=\frac{4S}{\pi d^2}$

প্র: তারটির পুরা দৈর্ঘ্যের রোধকে মোট দৈর্ঘ্য দ্বারা ভাগ করিয়াও ρ-এর মান পাওয়া যাইত। তাহা করা হয় না কেন ?

উ: এই পদ্ধতিতে যেহেতু, তারের বিভিন্ন অংশের জন্য ρ-এর মান পাওয়া যায়। সেজন্য এই পদ্ধতিতে প্রাপ্ত গড় ρ-এর মান অনেক বিশ্বস্ত হয়।

9·5 পোষ্ট-অফিস বাক্সের সাহায্যে একটি অজ্ঞাত রোধের মান নির্ণয় এবং একাধিক শ্রেণীসমবায় ও সমান্তরাল সংযোগের সূত্রের যাথার্থ্য-নির্ণয় (Determination of the value of an unknown resistance by means of a Post Office Box and hence to verify the laws of Series and Parallel resistances)

মূলনীতি (Theory) :

পোষ্ট-অফিস বক্স. যাহা হুইটষ্টোন ব্রিজেরই একরূপ. তাহার প্রথম বাহুতে, দ্বিতীয় বাহুতে এবং তৃতীয় বাহুতে যদি যথাক্রমে P. Q, R রোধ সন্নিবেশ করা যায় এবং চতুর্থ বাহুতে যদি একটি অজানা মানের রোধ (S) থাকে, তাহা হইলে হুইষ্টোনের সূত্র অনুযায়ী যদি গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যায়. তাহা হইলে

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \quad \text{বা,} \quad S=R.\frac{P}{Q} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5a)$$

আবার দুইটি রোধ r_1 ও r_2 যদি শ্রেণীসমবায়ে (Series) থাকে. তাহা হইলে উহাদের তুল্যাঙ্ক রোধ (R) হইবে

$$R=r_1+r_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5b)$$

এবং যদি উহারা সমান্তরালভাবে যুক্ত হয়. তাহা হইলে তখন তুল্যাঙ্ক রোধ (R') হইবে

$$\frac{1}{R'}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2} \quad \text{বা,} \quad R'=\frac{r_1r_2}{r_1+r_2} \quad \ldots \quad (9.5c)$$

ইহাই রোধের শ্রেণীসমবায় ও সমান্তরাল সংযোগের সূত্র।

পোষ্ট-অফিস বাক্সের সাহায্যে পৃথকভাবে r_1 ও r_2-এর মান নির্ণয় করিয়া এবং পুনরায় উহাদিগকে শ্রেণীসমবায়ে এবং সমান্তরালভাবে সংযোগ করিয়া পৃথকভাবে উহাদের তুল্যাঙ্করোধ (R ও R') নির্ণয় করিয়া, রোধের সংযোগের সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় করা যাইতে পারে।

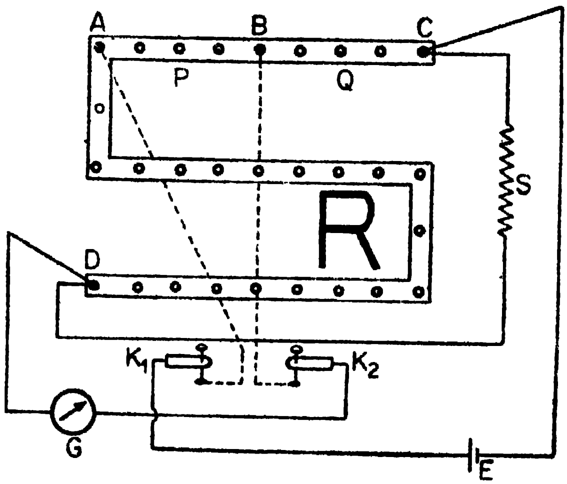
যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পোষ্ট-অফিস বাক্স ; দুইটি রোধ ; গ্যালভ্যানোমিটার ; কোষ ; সংযোগকারী তার ইত্যাদি।

পোষ্ট-অফিস বাক্স

ইহা একটি কাঠের বাক্সের মধ্যে শ্রেণীসজ্জায় সাজানো কতকগুলি রোধের সমষ্টি। হুইটষ্টোন ব্রিজের নীতি প্রযোগ করিয়া এই বাক্সের সাহায্যে রোধ নির্ণয় করা হয়। পূর্বে, এই বাক্সের সাহায্যে ডাকবিভাগে টেলিগ্রাফ তারের রোধ নির্ণয় করা হইত বলিয়া, ইহাকে পোষ্ট-অফিস বাক্স বলে। ইহার মধ্যে তিনসারি রোধ থাকে, প্রথম সারিতে AB ও BC বাহু দুইটির প্রত্যেক বাহুতে 10, 100 ও 1000 ওহ্‌ম্ করিয়া রোধ থাকে। ইহাদের

অনুপাত বাহু (ratio arms) বলে। তৃতীয় বাহুতে (AD) সাধারণতঃ 1 ওহম্ হইতে সুরু করিয়া 5000 ওহম্ পর্যন্ত এবং একটি অসীম (infinity) রোধ থাকে। A, B, C, D বিন্দুতে চারিটি স্ক্রু থাকে (চিত্র 9.6)। A বিন্দু ও B বিন্দুর সহিত বাক্সের ভিতর দিয়া



চিত্র 9.6 : পোষ্ট-অফিস বাক্স

পরিবাহী তারের সাহায্যে বাক্সের উপর লাগানো দুইটি চাবির সহিত (K_1 ও K_2) যুক্ত করা যায়। চাবি দুইটি টিপিলে বহির্বর্তনীর সহিত A ও B বিন্দু যুক্ত হয়। C ও D বিন্দুর মধ্যে অজানা পরিমেয় রোধ (S) যুক্ত করা হয়। AB বাহু, BC বাহু ও AD বাহু যথাক্রমে P, Q ও R বাহুর কার্য করে। A ও C বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি কোষ যুক্ত করা হয় এবং B ও D বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি গ্যালভ্যানোমিটার যুক্ত করা হয়। উভয় সংযোগই চাবি দুইটি (K_1 ও K_2)-এর মাধ্যমে করা হয়।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল এবং সংযোগ ঠিকমত হইয়াছে কিনা তাহা প্রথমেই দেখা প্রয়োজন। P ও Q বাহুর প্রত্যেকটিতে 10 ওহম্ সন্নিবেশ করিয়া, R বাহুতে একবার শূন্য রোধ (zero) এবং আর একবার অসীম রোধ (infinity) সন্নিবেশ করিয়া, প্রথমে ব্যাটারীর চাবি টিপিয়া, পরে গ্যালভ্যানোমিটারের চাবি টিপিতে হইবে। যদি দুই ক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, বাক্সের বর্তনী সংযোগ সঠিক হইয়াছে।

(ii) P ও Q বাহুর প্রত্যেকটিতে 10 ওহম্ রোধ দিয়া R বাহু হইতে বিভিন্ন মানের রোধ পর্যায়ক্রমে তুলিয়া এমন মানের রোধ উহাতে সন্নিবেশ করা হইল যে তখন দেখা গেল, গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ নাই। এই অবস্থায় যেহেতু $P=Q$, সুতরাং অজানা রোধের মান R-এর সমান।

(iii) কিন্তু যদি দেখা যায় যে, $P=Q=10$ ওহম্ করিয়া, R-এর কোন নির্দিষ্ট মানের জন্য গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থায় পাওয়া গেল না, সেক্ষেত্রে

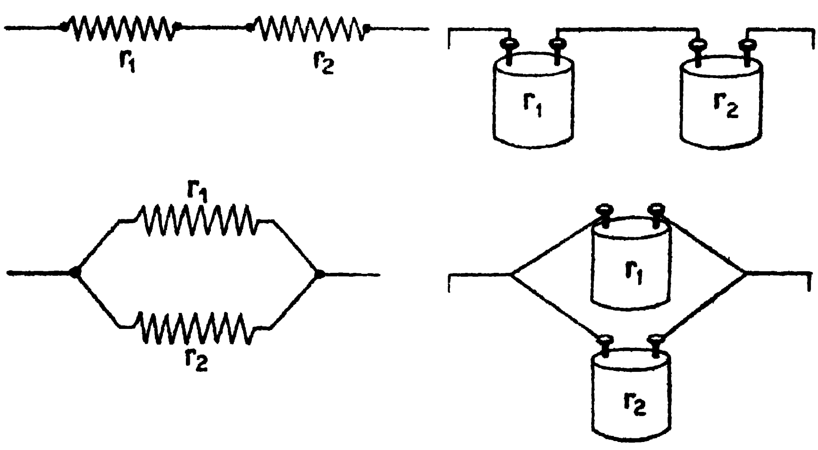
গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ, R ও $(R+1)$ ওহমের জন্য বিপরীত দিকে ঘটিবে। এই অবস্থায় বুঝিতে হইবে যে, অজানা রোধ (S)-এর মান R ও $(R+1)$ ওহমের মধ্যবর্তী।

(iv) তখন P বাহুতে 100 ওহম্ ও Q বাহুতে 10 ওহম্ রাখিয়া (অর্থাৎ $\frac{P}{Q}=\frac{10}{1}$), R-এর মান খুঁজিতে হইবে যাহাতে আবার গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যায়, ঐ মান অবশ্যই $10\,R$ ও $10\,(R+1)$-এর ভিতর থাকিবে। যদি এমতাবস্থায় বিক্ষেপহীন অবস্থা গ্যালভ্যানোমিটারে পাওয়া যায়, তাহা হইলে S-এর মান হইবে $\frac{1}{10}R$ যেহেতু $Q/P=1/10$.

(v) আবার যদি এই পর্যায়েও R এর কোনো নির্দিষ্ট মানের জন্য বিক্ষেপহীন অবস্থা না পাওয়া যায়, তাহা হইলে, $\frac{P}{Q}=\frac{100}{1}$ করিয়া, ঐ পদ্ধতি পুনরায় অবলম্বন করিয়া, R-এর একটি নির্দিষ্ট মান বাহির করিতে হইবে, যাহার জন্য গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা ঘটিবে। সেক্ষেত্রে S-এর মান হইবে $\frac{1}{100}R$। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে, পোস্ট-অফিস বাক্সে P ও Q-এর অনুপাত $100:1$ না লওয়াই বাঞ্ছনীয়।

শ্রেণীসমবায় ও সমান্তরাল সংযোগের সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়

উপরিউক্ত পদ্ধতি অনুযায়ী দুইটি রোধ r_1 ও r_2-এর মান পৃথকভাবে নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে। ইহার পর ঐ রোধ দুইটি একবার শ্রেণীসমবায়ে ও একবার সমান্তরাল



চিত্র 9.7 : রোধের শ্রেণীসমবায় ও সমান্তরাল সংযোগ

ভাবে সংযোগ করিতে হইবে (চিত্র 9.7) এবং প্রতিক্ষেত্রেই পৃথকভাবে ঐ সংযুক্ত অবস্থায় তুল্যাঙ্ক-রোধ-এর মান নির্ণয় করিতে হইবে। দেখা যাইবে যে তুল্যাঙ্ক-রোধের মান উভয়ক্ষেত্রেই যাহা হইবে, তাহা সমীকরণ (9.5 b) ও (9.5 c) অনুসারে হইবে। সুতরাং, রোধের সংযোগ সূত্র প্রমাণিত হইবে।

ফল (Results) :

অজানা রোধের (S) মান নির্ণয়

সারণী—1

P বাহুতে রোধ (ওহম্)	Q বাহুতে রোধ (ওহম্)	P/Q অনুপাত	R বাহুতে রোধ (ওহম্)	গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপের অভিমুখ	অজানা রোধের তুলনায় R বাহুতে রোধ	অজানা রোধ সম্বন্ধে মন্তব্য
10	10	1	0	বামে	খুব কম	
			∞	ডাইনে	খুব বেশী	
			100	,,	বেশী	
			50	,,	বেশী	
			30	,,	বেশী	
			20	বামে	কম	
			25	সামান্য ডাইনে	সামান্য বেশী	
			22	সামান্য বামে	সামান্য কম	
			24	,, ডাইনে	,, বেশী	
			23	,, বামে	,, কম	উহা 23 ওহম্ ও 24 ওহম-এর মধ্যে
100	10	10 : 1	240	ডাইনে	বেশী	
			230	বামে	কম	
			235	ডাইনে	সামান্য বেশী	
			232	বামে	,, কম	
			233	সামান্য ডাইনে	,, বেশী	উহা 23·2 হইতে 23 3 ওহমের মধ্যে
1000	10	100 : 1	2320	বামে	কম	
			2330	ডাইনে	বেশী	
			2325	ডাইনে	সামান্য বেশী	
			2323	সামান্য বামে	,, কম	
			2324	বিক্ষেপ নাই		উহার মান 23·24 ওহম্

[উপরিউক্ত তালিকায় প্রদত্ত সংখ্যাগুলি কাল্পনিক এবং উহা শুধুমাত্র উদাহরণ স্বরূপ দেওয়া হইয়াছে]

সারণী—1-এর ন্যায়, রোধ r_1, r_2 এবং শ্রেণীসমবায়যুক্ত অবস্থায় তুল্যাঙ্ক-রোধ (R) ও সমান্তরালভাবে যুক্ত অবস্থায় তুল্যাঙ্করোধ (R')-এর জন্য মোট চারিটি সারণ একইভাবে তৈয়ারী করিতে হইবে।

রোধের শ্রেণীসংযোগ ও সমান্তরাল সংযোগ সূত্রের প্রমাণ

সারণী—5

r_1-এর মান (ওহম্)	r_2-এর মান (ওহম্)	r_1 ও r_2 যেভাবে যুক্ত	r_1 ও r_2-এর তুল্যাঙ্ক রোধ (ওহম্)		মন্তব্য
			সূত্রানুযায়ী	পরীক্ষালব্ধ	
—	—	শ্রেণী সমবায়ে	—	— (R)	শ্রেণীসমবায়ের সূত্র প্রমাণিত
—	—	সমান্তরালভাবে	—	— (R')	সমান্তরালভাবে সংযোগের সূত্র প্রমাণিত

সতর্কতা (Precautions) :

(i) গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ দেখিবার সময়ে প্রতিবার প্রথমে ব্যাটারির চাবি ও পরে গ্যালভ্যানোমিটারের চাবি টিপিতে হইবে।

(ii) বাক্সের মধ্যে প্রতিটি চাবি যেন খুব দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া থাকে, সেদিকে বিশেষ লক্ষ্য রাখিতে হইবে।

(iii) যে কোন অবস্থায় R বাহুতে একটি রোধের জন্য গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া গেলে, R অপেক্ষা 1 ওহম্ বাড়াইয়া এবং কমাইয়া, গ্যালভ্যানোমিটারে যে বিপরীত দিকে বিক্ষেপ পাওয়া যায়, তাহা দেখিতে এবং দেখাইতে হইবে।

(iv) P/Q-এর উচ্চ অনুপাতের ক্ষেত্রে R বাহুতে যে রোধের সীমা পাওয়া যায়, তাহা যদি P/Q-এর নিম্ন অনুপাতে প্রাপ্ত R বাহুর রোধের সীমার সহিত না মিলে, সেক্ষেত্রে P/Q-এর উচ্চমানের ক্ষেত্রে প্রাপ্ত মানের উপর নির্ভর করিতে হইবে।

(v) লেক্ল্যান্স কোষ ব্যতীত অন্য কোন কোষ (সঞ্চয়কজাতীয়) লইয়া পরীক্ষাকার্য করিলে, একটি রিয়োস্ট্যাট্ শ্রেণীসজ্জার কোষের সহিত যোগ করিয়া লইতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ পোস্ট-অফিস বাক্স কাহাকে বলে : ইহার এরূপ নামকরণ কেন হইয়াছে ?

উঃ যন্ত্রাবলীতে যন্ত্রের বর্ণনা দ্রষ্টব্য

প্র: বর্তনীতে কোষের ও গ্যালভ্যানোমিটারের স্থান পরিবর্তন করিলে কি হইবে ?

উ: যেহেতু নীতি অনুযায়ী P/Q=R/X, সেজন্য এই পরিবর্তনে বিক্ষেপহীন অবস্থার কোন পরিবর্তন হইবে না।

প্র: ইহার দ্বারা কিরূপ মানের রোধ মাপা যায় ?

উ: ইহার সাহায্যে খুব উচ্চমানের বা খুব নিম্নমানের রোধ মাপা যায় না, কারণ P, Q, R, এই চারিটি রোধ যখন সমপর্যায়ের মানের হয়। তখনই ব্রিজ সুবেদী হয়। সেজন্য এই পদ্ধতিতে মাঝারী মানের রোধ মাপা যায়।

প্র: কোষের তড়িচ্চালক বল খুব বেশী হইলে কি হইবে ?

উ: সেক্ষেত্রে বেশী প্রবাহমাত্রার ফলে বাক্সের রোধগুলি উত্তপ্ত হইবে এবং উহাদের মানক মানের পরিবর্তন ঘটিবে।

প্র: মিটার ব্রিজ পদ্ধতি এবং পোষ্ট-অফিস বাক্স পদ্ধতি—এই দুইটির মধ্যে রোধ নির্ণয়ের জন্য কোন্ পদ্ধতিটি বেশী সুবিধাজনক ?

উ: যেহেতু পোষ্ট-অফিস বাক্স পদ্ধতিতে রোধের মান দুই দশমিক স্থান পর্যন্ত নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়, সেজন্য এই পদ্ধতি বেশী সুবেদী। ইহা ব্যতীত মিটার ব্রিজের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ সবত্র সমান না হইতেও পারে। সেজন্য ঐ পদ্ধতিতে নির্ণীত মাপের মধ্যে কিছু অনিশ্চয়তা থাকিতে পারে।

9·6 অর্ধবিক্ষেপ পদ্ধতির সাহায্যে একটি প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ নির্ণয় (Measurement of the resistance of a suspended coil galvanometer by half deflection method)

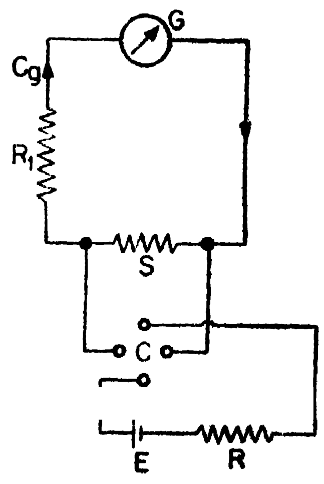
মূলনীতি (Theory) :

চিত্র 9.৪-এ প্রদর্শিত বর্তনীতে যদি শাণ্ট S-এর মান গ্যালভ্যানোমিটার রোধ G এর তুলনায় খুব কম হয়, তাহা হইলে, দেখানো যায় যে, শাণ্টের দুই প্রান্তের মধ্যেকার বিভব-পার্থক্য গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীর রোধের উপর নির্ভর করে না। যদি কোষের তড়িচ্চালক বল E হয়, তাহা হইলে, ঐ শাণ্টের প্রান্তে বিভব পার্থক্যের পরিমাণ হইবে

$$V=\frac{E.S}{R+S} \quad \dots \quad .. \quad (9.6a)$$

যদি গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীতে কোন অতিরিক্ত রোধ না থাকে ($R_1=0$) তাহা হইলে, গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত প্রবাহের মান হইবে,

$$C_g=\frac{V}{G}=\frac{E.S}{G(R+S)} \quad \dots \quad (9.6b)$$



চিত্র 9.8 : অর্ধবিক্ষেপ পদ্ধতিতে গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ নির্ণয়

এই প্রবাহ যদি গ্যালভ্যানোমিটার হইতে নির্দিষ্ট দূরে রক্ষিত স্কেলের উপর আলোক-বিন্দুর সরণ ঘটায় d_1, তাহা হইলে

$$C_g=\frac{V}{G}=K.d_1 \text{ যখন } K \text{ একটি ধ্রুবক}$$

এখন, যদি গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীতে রক্ষিত রোধবাক্স হইতে একটি যথোপযুক্ত রোধ

R_1 প্রয়োগ করা যায় এবং তাহাতে যদি গ্যালভ্যানোমিটার হইতে প্রতিফলিত পূর্বোক্ত ঐ আলোকবিন্দুর সরণ ঐ স্কেলে d_2 হয়। তাহা হইলে, গ্যালভ্যানোমিটারে প্রবাহমাত্রা হইবে

$$C'_g = \frac{V}{G+R_1} = K.d_2 \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (9.6c)$$

যদি R_1-এর মান এমন করা যায় যাহাতে

$d_2 = \frac{1}{2}d_1$ হয়, তাহা হইলে (9.6 c) হইতে

$$C'_g = \frac{V}{G+R_1} = K.d_2 = K.\frac{d_1}{2} = \frac{C_g}{2}$$

$$\therefore \quad \frac{V}{G+R_1} = \frac{V}{2G}$$

অর্থাৎ $2G = G + R_1$, বা, $G = R_1 \qquad .. \qquad (9.6d)$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

রোধবাক্স দুইটি ও একটি শান্ট বাক্স ; সঞ্চয়ক কোষ ; কম্যুটেটর ; প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার ; সংযোগকারী তার।

শান্ট বাক্সে রোধ যেন 1 ওহমের ভগ্নাংশমানের রোধ থাকে, অন্য বাক্সে রোধ উচ্চমানের থাকা প্রয়োজন।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.8-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ করা হইল, এবং আলোকবিন্দুকে গ্যালভ্যানোমিটারের দর্পণ হইতে প্রতিফলিত করিয়া নির্দিষ্ট দূরত্বে রক্ষিত স্কেলের উপর শূন্য দাগে সূক্ষ্মভাবে ফোকাস করা হইল।

(ii) R রোধবাক্সে যথাযথমানের রোধ প্রয়োগ করিয়া এবং শান্ট বাক্স (S) হইতে এক ওহমের ভগ্নাংশমানের রোধ প্রয়োগ করিয়া, প্রতিফলিত আলোকবিন্দুকে স্কেলের 8 হইতে 12 সেমি-এর মধ্যে যাহাতে ফোকাসিত হয়, তাহার ব্যবস্থা করা হইল। এই পর্যায়ে, গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীতে রোধবাক্সে R_1-এর মান যেন শূন্য থাকে ($R_1 = O$) । স্কেলের আলোকবিন্দুর সরণের পাঠ (d_1) লওয়া হইল।

(iii) এরপর, সমগ্র ব্যবস্থাটিকে পরিবর্তন না করিয়া, R_1-এর মান ক্রমশ: বৃদ্ধি করা হইতে লাগিল এবং উহার মান এমন করা হইল, যাহতে আলোকবিন্দুর স্কেলে সরণ, ঐ পূর্বোক্ত মান d_1-এর ঠিক অর্ধেক হয় ($d_1/2$)। এই অবস্থায় R_1-এর মান লিপিবদ্ধ করা হইল। মূলনীতির সমীকরণ (9.6 d) হইতে, R_1-এর এই মানই হইবে। আলোচ্য গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর রোধ (G)।

(iv) কম্যুটেটরের সাহায্যে প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করিয়া, S ও R-এর পূর্বোক্ত মানের জন্য অনুরূপভাবে R_1-এর মান নির্ণয় করা হইল।

(v) এইভাবে, R-এর একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য অন্ততঃ দুইটি শান্ট-রোধ (S) লইয়া পাঠ লইতে হইবে এবং অন্ততঃ ঐরূপ তিনটি R-এর মান লইয়া প্রতিক্ষেত্রে শান্ট-এর মান পরিবর্তন করিয়া পাঠ লইয়া, R_1-এর গড় পাঠ লইতে হইবে।

ফল (Results) :

সঞ্চয়ক কোষের তড়িচ্চালক বল (পরীক্ষার পূর্বে) = ... ভোল্ট

,, ,, ,, ,, (পরীক্ষার পর) = ... ভোল্ট

সারণী-

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রবাহের অভিমুখ	R বাক্সে প্রযুক্ত রোধ (ওহম্)	S বাক্সে প্রযুক্ত শান্ট রোধ (ওহম্)	R_1 বাক্স হইতে প্রযুক্ত রোধ (ওহম্)	স্কেলে আলোক বিন্দুর সরণ (d_1) (সেমি)	গ্যালভানোমিটারের রোধ ($G=R_1$) (ওহম্)	গ্যালভানোমিটারের গড় রোধ (ওহম্)
1	সোজা	—	—	O	—	—	—
	বিপরীত	—	—	—	—	—	
2	সোজা	—	—	O	—	—	
	বিপরীত	—	—	—	—	—	
3	সোজা	—	—	O	—	—	
	বিপরীত	—	—	—	—	—	
4	সোজা	—	—	O	—	—	
	বিপরীত	—	—	—	—	—	

সুতরাং, গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ = ... ওহম্

সতর্কতা (Precautions) :

(i) গ্যালভ্যানোমিটারের রোধের তুলনায় প্রযুক্ত শাণ্ট বাক্সের রোধ খুব কম হওয়া প্রয়োজন নচেৎ মূলনীতি কার্যকরী হইবে না।

(ii) প্রবাহ অভিমুখ সোজা ও বিপরীত হওয়ার ক্ষেত্রে হয়ত R-এর একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য এবং R_1-এর মান শূন্য থাকাকালীন হয়ত আলোকবিন্দুর সরণ স্কেলে উভয়দিকে এক নাও হইতে পারে। সেক্ষেত্রে বর্তনীতে প্রবাহ বন্ধ করিয়া আলোকবিন্দু স্কেলের উপর ঠিক শূন্য দাগে আছে কিনা, তাহা পরীক্ষা করিয়া লওয়া প্রয়োজন।

(iii) শূন্যে আলোকবিন্দু থাকিলেও যদি এরূপ ঘটে, সেক্ষেত্রে সোজা ও বিপরীতমুখী প্রবাহের জন্য, পৃথক পৃথক ভাবে, আলোকবিন্দুর সরণকে যথাযথ সরণের অর্ধেক করিতে হইবে।

(iv) আলোকবিন্দুর সরণ যথাসম্ভব স্কেলের 8 হইতে 12 সেমি-এর মধ্যে রাখিতে হইবে, নচেৎ গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া বাহিত প্রবাহমাত্রা উহার বিক্ষেপের সহিত সমানুপাতী হইবে না।

প্রশ্নোত্তর

প্র: গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ কাহাকে বলে ?

উ: গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে যে কুণ্ডলী থাকে, তাহার রোধকেই গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ বলে।

প্র: সকল গ্যালভ্যানোমিটারের রোধই কি এই উপায়ে নির্ণয় করা যায় ?

উ: না, যে গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ, শাণ্টের রোধের অপেক্ষা অনেক বেশী এবং যেক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা উহার বিক্ষেপের সহিত সমানুপাতী, সেক্ষেত্রেই এই পদ্ধতি প্রযোজ্য।

প্র: শাণ্টসমেত গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীর তুল্যাঙ্ক রোধ কত ?

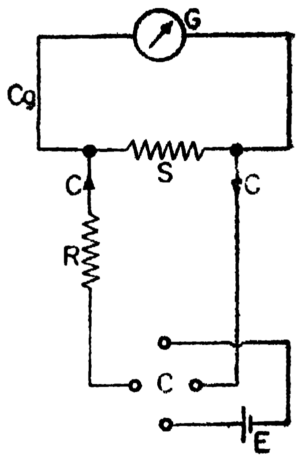
উ: তুল্যাঙ্ক রোধ-এর মান, শাণ্ট রোধের মান অপেক্ষাও কম হইবে।

9·7 প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the Figure of Merit of a Suspended coil galvanometer)

মূলনীতি (Theory) :

যদি একটি প্রলম্বিত গ্যালভ্যানোমিটারের দর্পণ হইতে ঠিক এক মিটার দূরে স্থাপিত একটি স্কেলের উপর, দর্পণ হইতে প্রতিফলিত আলোকরশ্মি লম্বভাবে পড়ে, তাহা হইলে ঐ স্কেলের উপর আলোকরশ্মিকে এক মিলিমিটার সরণ করাইতে, গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে যে পরিমাণ প্রবাহ (অ্যাম্পিয়ারে) পাঠাইতে হইবে, তাহাই হইবে ঐ গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্কের (Figure of merit) পরিমাপ।

চিত্র 9.9-এ প্রদর্শিত বর্তনীতে, যদি মূলপ্রবাহ C-এর একটি অংশ C_g গ্যালভ্যানো-মিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়, তাহা হইলে এই C_g-এর মান হইবে



চিত্র 9.9 : গ্যালভ্যানো-মিটারের দক্ষতাঙ্ক নির্ণয়

$$C_g = \frac{S}{S+G} C$$

$$= \frac{S}{S+G} \cdot \frac{E}{R+\frac{SG}{S+G}}$$

$$= \frac{E.S}{R(S+G)+SG} \quad \ldots \quad (9.7a)$$

যখন E -- কোষের তড়িচ্চালক বল

R -- মূলবর্তনীতে শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত রোধ

S ও G -- যথাক্রমে শাণ্ট ও গ্যালভ্যানো-মিটারের রোধ

যদি গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত এই প্রবাহমাত্রা (C_g), D সেমি দূরে রক্ষিত একটি স্কেলের উপর আলোকবিন্দুর d মিমি সরণ ঘটাইতে সক্ষম হয়, তাহা হইলে, গ্যালভ্যানো-মিটারের মধ্যস্থ ঐ প্রবাহমাত্রা (C_g), 100 সেমি দূরে রক্ষিত স্কেলের উপর আলোক-বিন্দুর যত মিলিমিটার সরণ ঘটাইতে সক্ষম হইবে, তাহার পরিমাণ

$$N = \frac{100\, d}{D}$$ (মনে রাখিতে হইবে যে, D দূরত্ব সেমি-এ এবং সরণ d মাপা হয় **মিলিমিটারে**)

সংজ্ঞানুযায়ী গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্ক

$$F = \frac{C_g}{N} = \frac{D}{100d} \cdot \frac{ES}{R(S+G)+SG} \quad \ldots \quad (9.7b)$$

যেহেতু, $S.G$-এর মান $R(S+G)$-এর তুলনায় খুব কম, সুতরাং

$$F = \frac{E.S}{R(S+G)} \cdot \frac{D}{100\, d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.7c)$$

গ্যালভ্যানোমিটারের প্রবাহ-সুগ্রাহীতা (Current sensitivity) সংজ্ঞানুযায়ী উহার দক্ষতাঙ্কের (Figure of merit) অনোন্যক। সুতরাং, গ্যালভ্যানোমিটারের প্রবাহ সুগ্রাহীতা

$$\theta = \frac{100\, d.}{D} \cdot \frac{R(S+G)}{ES} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.7d)$$

($S.$ G-কে নগণ্য ধরিয়া)

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

গ্যালভ্যানোমিটার (প্রলম্বিত কুণ্ডলী) ; শাণ্ট বাক্স (0·1 ওহম্ হইতে 40 ওহম্ পর্যন্ত মানের) ; উচ্চরোধের বাক্স ; কম্যুটেটর ; কোষ ; সংযোগকারী তার ইত্যাদি

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) সঞ্চয়ক কোষের তড়িচ্চালক বল (E) নির্ণয় করিয়া লওয়া হইল, এবং গ্যালভ্যানোমিটারের রোধের মান (G—যাহা দেওয়া থাকে) লিপিবদ্ধ করা হইল। আলোকবিন্দুকে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে রক্ষিত স্কেলের শূন্য দাগের সহিত সঠিকভাবে ফোকাস করিয়া স্থির করা হইল এবং ঐ স্কেলের দূরত্ব (D গ্যালভ্যানোমিটার হইতে, একটি স্কেলের সাহায্যে পরিমাপ করা হইল।

(ii) চিত্র 9.9-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ স্থাপন করা হইল এবং রোধবাক্স R হইতে একটি উচ্চমানের রোধ বর্তনীতে প্রয়োগ করিয়া, শান্ট-বাক্স হইতে একটি উপযুক্ত মানের ভগ্নাংশ রোধ (S) প্রয়োগ করা হইল যাহাতে, গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপের ফলে, আলোকবিন্দুর সরণ স্কেলের 8 সেমি হইতে 16 সেমি-এর মধ্যে থাকে।

(iii) এইভাবে একটি R মানের জন্য দুইটি বিভিন্ন শান্ট রোধের মান (S) প্রয়োগ করিয়া, আলোকবিন্দুর সরণ স্কেলে পরিমাপ করা হইল এবং প্রতিক্ষেত্রে, প্রবাহমুখ কম্যুটেটরের সাহায্যে সোজা ও বিপরীত করিয়া পাঠ লওয়া হইল এবং গড় পাঠ লওয়া হইল।

(iv) এরূপে, অন্ততঃ 5টি R-এর মান এবং প্রতিটি R-এর মানের জন্য দুইটি শান্ট রোধের (S) মান লইয়া, মোট 10টি পাঠ (প্রত্যেক ক্ষেত্রে সোজা ও বিপরীতমুখী প্রবাহের জন্য) লওয়া হইল।

(v) সমীকরণ (9·7 c) হইতে গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্কের মান প্রতিটি মানের নির্ণয় করিয়া গড় মান নির্ণয় করা হইল এবং সমীকরণ (9·7 d) হইতে গ্যালভ্যানোমিটারের প্রবাহ সুগ্রাহীতাও পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

কোষের তড়িচ্চালক বল (পরীক্ষার পূর্বে) E	=	ভোল্ট
,, ,, (পরীক্ষার পরে)	=	ভোল্ট
গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ (প্রদত্ত) (G)	=	ওহম্
গ্যালভ্যানোমিটার হইতে স্কেলের দূরত্ব (D)	=	সেমি

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বাক্স R-এ প্রযুক্ত রোধ (ওহম্)	শান্ট বাক্স S-এ প্রযুক্ত রোধ (ওহম্)	স্কেলের উপর আলোক বিন্দুর সরণ (মিমি)			গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্ক (F) অ্যাম্প/মিমি	গড় দক্ষতাঙ্ক (F) অ্যাম্প/মিমি
			প্রবাহ মুখ সোজা	প্রবাহ মুখ বিপরীত	গড় সরণ (d মিমি)		
1	—	— —	— —	— —	— —	— —	
2	—	— —	— —	— —	— —	— —	
3	—	— —	— —	— —	— —	— —	
4	—	— —	— —	— —	— —	— —	
5	—	— —	— —	— —	— —	— —	

হিসাব (Calculation) :

গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্ক (F)

$$= \frac{E.S}{R(S+G)} \cdot \frac{D}{100\,d} \quad \ldots \quad \text{অ্যাম্পিয়ার / মিমি}$$

এবং গ্যালভ্যানোমিটারের প্রবাহ সুগ্রাহীতা (θ)

$$= \frac{1}{F} = \frac{R(S+G)\,.\,100\,d}{E.\,S.\,D.} \quad \ldots \quad \text{মিমি. / অ্যাম্পিয়ার}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) কোন অবস্থাতেই R-এর মান যেন শূন্য না হয়। সেক্ষেত্রে অতিরিক্ত প্রবাহমাত্রা গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া উহাকে বিনষ্ট করিতে পারে।

(ii) স্কেলটিকে যথাসম্ভব গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁচ হইতে সমকোণে লম্বভাবে স্থাপন করিতে হইবে যাহাতে প্রতিফলিত আলোকরশ্মি সমকোণে স্কেলের উপর পড়ে।

(iii) আলোকবিন্দুর সরণ স্কেলের উপর সর্বদা 8 সেমি হইতে 16-সেমি-এর মধ্যে রাখিতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্র: গ্যালভ্যানোমিটারের দক্ষতাঙ্ক ও প্রবাহ-সুগ্রাহীতা কাহাকে বলে ?

উ: 'মূলনীতি' দ্রষ্টব্য।

প্র: দক্ষতাঙ্ক কিসের উপর নির্ভর করে ?

উ: উহা গ্যালভ্যানোমিটারের গঠনের উপর—বিশেষভাবে উহার কুণ্ডলীর রোধের উপর নির্ভর করে।

প্র: স্কেলের দূরত্বের উপর কি দক্ষতাঙ্ক নির্ভর করে ?

উ: না, সংজ্ঞানুযায়ী, স্কেলের দূরত্ব 1 মিটার হইলে যে সরণ হয় আলোকবিন্দুর, তাহার উপর দক্ষতাঙ্ক নির্ভর করে।

প্র: দুইটি ভিন্নমানের দক্ষতাঙ্ক বিশিষ্ট গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে কোনটি বেশী সুগ্রাহী ?

উ: যাহার দক্ষতাঙ্ক কম, সে বেশী সুগ্রাহী।

প্র: কুণ্ডলীর রোধ বেশী হইলে দক্ষতাঙ্ক বাড়ে না কমে ?

উ: রোধ বেশী হইলে দক্ষতাঙ্ক বেশী হয় এবং গ্যালভ্যানোমিটার কম সুগ্রাহী হয়

প্র: শান্টের রোধের মান বাড়াইলে কি হয় ?

উ: সেক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ বাড়িবে।

9·8 প্রতিস্থাপন পদ্ধতিতে একটি প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ নিরীক্ষণ করিয়া একটি উচ্চমানের রোধ নির্ণয়। (Determination of the value of a high resistance by substitution method, noting the deflection of a suspended coil galvanomiter)

মূলনীতি (Theory) :

চিত্র 9.10-এ প্রদর্শিত বর্তনীতে যদি R ও X দুইটি উচ্চমানের রোধ (মেগওহম

পর্যায়ের) যথাক্রমে মূল বর্তনীতে পর্যায়ক্রমে যুক্ত করা যায় এবং উহাদের জন্য প্রযুক্ত শাণ্টরোধের মান (S) যদি যথাক্রমে S_1 ও S_2 হয়, যাহার ফলে গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ ঘটে যথাক্রমে d_1 ও d_2 (d_1 ও d_2 প্রায় সমান), তাহা হইলে প্রথম ক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহমাত্রা

$$C_g = \frac{ES_1}{R(S_1+G)+S_1G} = K\ d_1 \quad \ldots \quad (9.8a)$$

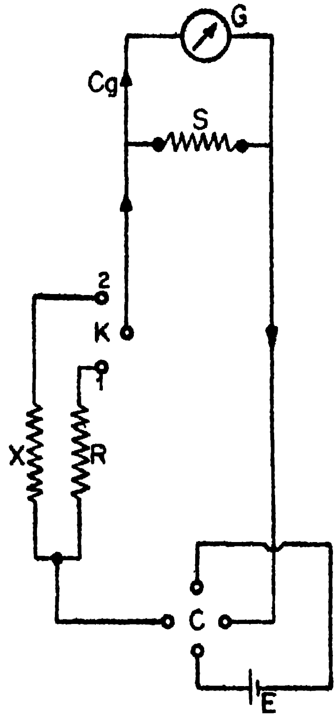
এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রা

$$C'_g = \frac{ES_2}{X(S_2+G)+S_2G} = K\ d_2 \quad \ldots \quad (9.8b)$$

[K—গ্যালভ্যানোমিটারের ধ্রুবক
G—গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ
E—কোষের কোষের তড়িচ্চালক বল]

সমীকরণ (9.8a) ও (9.8b) এর অনুপাত হইতে

$$\frac{C_g}{C'_g} = \frac{Kd_1}{Kd_2} = \frac{S_1}{S_2} \times \frac{X(S_2+G)+S_2G}{R(S_1+G)+S_1G} \quad \cdots \quad (9.8c)$$



চিত্র 9.10 : উচ্চমানের রোধনির্ণয়

যদি X ও R দুইটি উচ্চমানের রোধের তুলনায় শাণ্ট রোধ S_1 ও S_2 এবং গ্যালভ্যানোমিটার রোধ G নগণ্য হয়, তাহা হইলে সমীকরণ (9.8 c) হইবে।

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{S_1}{S_2} \times \frac{X(S_2+G)}{R(S_1+G)} \qquad [S_1G \text{ ও } S_2G\text{-কে বাদ দিয়া}]$$

$$\text{বা, } X = R.\ \frac{S_2(S_1+G)}{S_1(S_2+G)} \cdot \frac{d_1}{d_2} \quad \ldots \quad (9.8d)$$

সুতরাং যদি R-এর মান জানা থাকে, তাহা হইলে সমীকরণ (9.8d)-এর অন্যান্য রাশিগুলির মান পরিমাপ করিলে, অজানা উচ্চমানের রোধ X-এর মান পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

অজানা উচ্চমানের রোধ ; জানা উচ্চমানের রোধবাক্স ; শাণ্ট রোধবাক্স ; গ্যালভ্যানোমিটার ; কম্যুটেটর ; কোষ ; একটি দুইমুখী চাবি ; সংযোগকারী তার।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) ঃ

(i) চিত্র 9.10-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল এবং

গ্যালভ্যানোমিটার হইতে প্রতিফলিত আলোকবিন্দুকে স্কেলের উপর উহার শূন্যবিন্দুতে ফোকাস করা হইল।

(ii) শান্ট বাক্সে S-এর মান খুব কম লইয়া, দ্বিমুখী চাবির 1নং অবস্থানে চাবি লাগাইয়া, জানা রোধ R-কে বর্তনীতে যুক্ত করিয়া, উপযুক্ত S-এর মানের জন্য, গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ, স্কেলে 8 সেমি হইতে 16 সেমি-এর মধ্যে রাখা হইল। কম্যুটেটরের সাহায্যে বর্তনীতে প্রবাহের মুখ পরিবর্তন করিয়া, উভয় দিকের জন্য, স্কেলে আলোকবিন্দুর পাঠ (d_1) লওয়া হইল।

(iii) দ্বিমুখী চাবির 2নং অবস্থানে চাবি লাগাইয়া, অজানা রোধ X-কে বর্তনীতে সংযোগ করিয়া, S-এর মান পরিবর্তন করিয়া এবং উপযুক্ত মান ব্যবহার করিয়া আবার স্কেলে আলোকবিন্দুর পাঠ (d_2) লওয়া লওয়া। S-এর মান এমন লইতে হইবে যে, যেন এই d_2-এর পাঠ, d_1-এর প্রায় সমান বা কাছাকাছি হয়। কম্যুটেটরের সাহায্যে পূর্বের ন্যায় প্রবাহমুখ পরিবর্তন করিয়া এক্ষেত্রেও পাঠ লওয়া হইল।

(iv) এইভাবে R-এর মান পরিবর্তন করিয়া অন্ততঃ তিনটি মান লইয়া এবং প্রতিবারের জন্য শান্টের মান (S) দুইটি লইয়া পাঠগুলির পুনরাবৃত্তি করা হইল।

(v) সমীকরণ (9.8d) হইতে প্রতিক্ষেত্রে X-এর মান নির্ণয় করিয়া, গড় মান অজানা উচ্চরোধের নির্ণয় করা হইল।

ফল (Results) :

সঞ্চয়ক কোষের তড়িচ্চালক বল (পরীক্ষার পূর্বে) = ... ভোল্ট

,, ,, ,, ,, (পরীক্ষার পরে) = ... ভোল্ট

গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ (G) = ওহম

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত রোধ (ওহম্)	শান্টে প্রদত্ত রোধ (S) (ওহম্)	আলোকবিন্দুর সরণ যখন প্রবাহ			অজানা রোধের (X) মান (ওহম্)	X-এর গড় মান (ওহম্)
			সোজামুখী (সেমি)	বিপরীতমুখী (সেমি)	গড় সরণ (সেমি)		
1	R	— (s_1) — (s_1)	—	—	(d_1)	—	
	X	— (s_2) — (s_2)	—	—	(c_2)	—	—
2	R	— (s_1) — (s_1)	—	—	—	—	
	X	— (s_2) — (s_2)	—	—	—	—	—
3	R	— (s_1) — (s_1)	—	—	—	—	
	X	— (s_2) — (s_2)	—	—	—	—	

হিসাব (Calculation) :

R-এর একট নির্দিষ্ট মানের জন্য এবং S-এর একটি মানের (S_1 এবং S_1) জন্য পৃথক্ পৃথক্‌ভাবে, X-এর মান নির্ণয় করিয়া উহার গড় মান বাহির করিতে হইবে, প্রতিক্ষেত্রেই সমীকরণ (9.8 d)

$$X = R_1 \frac{S_2 (S_1 + G)}{S_1 (S_2 + G)} \cdot \frac{d_1}{d_2}$$ হইতে X-এর মান নির্ণয় করিতে হইবে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) যেহেতু গ্যালভ্যালোমিটারের ধ্রুবক K উহার বিক্ষেপের উপর নির্ভরশীল, সেজন্য K-এর মান উভয়ক্ষেত্রে এক রাখিতে হইলে, d_1 ও d_2-এর মান প্রায় সমান রাখা প্রয়োজন।

(ii) জানা রোধ R-এর মান যথাসম্ভব X-এর মানের সমপর্যায় (same order) হওয়া বাঞ্ছনীয়।

(iii) সঞ্চয়ক কোষ পরীক্ষাকার্যে ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয় যাহাতে, পরীক্ষাকালে কোষের তড়িচ্চালক বল ধ্রুবক থাকে।

(iv) স্কেল, আলোকবিন্দু ও সরণ সংক্রান্ত সতর্কতা, পূর্বের পরীক্ষায় বর্ণিত ব্যবস্থানুযায়ী হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রশ্নোত্তর

প্র: একটি পোষ্ট-অফিস বাক্স বা মিটার ব্রিজের সাহায্যে এই রোধ মাপা হয় না কেন ?

উ: পোষ্ট-অফিস বাক্স বা মিটার ব্রিজে (হুইটস্টোন ব্রিজে) তখনই ব্রিজ সুবেদী হয়, যখন উহার চারিটি বাহুর রোধ সমপর্যায়ের হয়, এক্ষেত্রে যেহেতু রোধটি খুব উচ্চমানের সেজন্য ইহা ঐ উপায়ে মাপিলে, ব্রিজ বা বাক্স সুবেদী হইবে না।

প্র: আলোকবিন্দুর সরণ উভয়ক্ষেত্রে কি পৃথক হইলে কোন ক্ষতি আছে ?

উ: [সতর্কতা দ্রষ্টব্য।]

প্র: উচ্চমানের রোধ মাপিবার জন্য কোন পদ্ধতি আছে কি ?

উ: হ্যাঁ, একটি ধারকের (condenser) মধ্য দিয়া আধানের ক্ষরণ পদ্ধতির (leakage) সাহায্যে, একটি উচ্চমানের রোধ মাপা যায়।

[অন্যান্য প্রশ্নাবলী সম্বন্ধে পূর্বেকার গ্যালভ্যানোমিটার সংক্রান্ত পরীক্ষার প্রশ্নোত্তর দ্রষ্টব্য।]

9·9 তামার ভোল্টামিটারের সাহায্যে একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটারের পরিবর্তন গুণাঙ্ক নির্ণয়।

(Determination of the Reduction Factor of a Tangent Galvanometer by the Copper Voltameter method)

মূলনীতি (Theory) :

একটি ব্যবস্থাপিত ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া যদি C অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ চালিত হওয়ার ফলে, ঐ গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ θ হয়, তাহা হইলে

$$C = K \tan \theta \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (9.9a)$$

যদি একটি তামার ভোল্টামিটার (copper voltameter) শ্রেণীবদ্ধভাবে ঐ গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত যুক্ত থাকে এবং তাহার ফলে ঐ ভোল্টামিটারের ক্যাথোড পাতে যদি t সেকেণ্ড সময়ে W গ্রাম তামা জমা হয়, তাহা হইলে

$$C=K\tan\theta=\frac{W}{Z.t} \quad \ldots \quad (9.9b)$$

যখন, Z-তামার বিদ্যুৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (electrochemical equivalent)

সুতরাং, $K=\dfrac{W}{Z.\,t.\tan\theta}$ অ্যাম্পিয়ার (9.9c)

যদি K-কে তড়িৎচুম্বকীয় এককে (*e.m.u.*) প্রকাশ করা হয়, তাহা হইলে

$$K=\frac{W}{10\,Z.\,t.\tan\theta}\ e.m.u. \quad (9.9d)$$

সমীকরণ (9.9d) হইতে গ্যালভ্যানোমিটারের পরিবর্তন গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যাইবে।

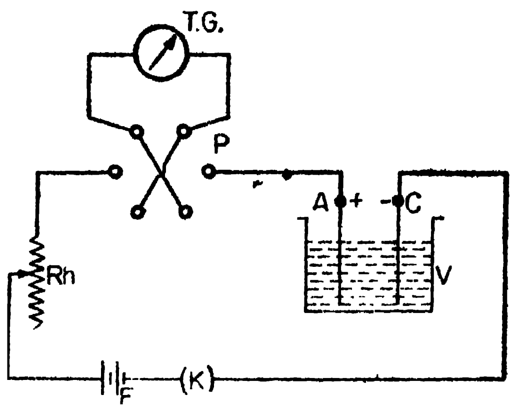
যন্ত্রাবলী (Apparatus) ;

ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটার, ভোল্টামিটার ; কম্যুটেটর ; সঞ্চয়ক কোষের ব্যাটারী ; রিয়োষ্ট্যাট ; স্টপ ঘড়ি ; তুলাযন্ত্র ; ওজন বাক্স ; সংযোগকারী তার ইত্যাদি।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure)

(i) চিত্র 9.11-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল। কম্যুটেটর (P) পোহল্ কম্যুটেটর হওয়া বাঞ্ছনীয় নচেৎ সাধারণ কম্যুটেটর লইতে হইবে। ভোল্টামিটারের ক্যাথোড পাত (—) যেন কোষের ঋণাত্মক দিকের সহিত সঠিক ভাবে যুক্ত হয়।

(ii) 8.4 (ক)-এ বর্ণিত ব্যবস্থানুযায়ী (চিত্র 8.17) ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটারটিকে যথাযথভাবে লেভেলিং করিয়া লওয়া হইল। দেখিতে হইবে যে উহার সূচকটি যেন কোন-প্রকার বাধাপ্রাপ্ত না হইয়া মুক্তভাবে ঘুরিতে পারে।



চিত্র 9.11 : ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটারের পরিবর্তন গুণাঙ্ক নির্ণয়

(iii) তামার ভোল্টামিটারের ক্যাথোড পাতকে খুলিয়া লইয়া, সূক্ষ্ম শিরীষ কাগজের দ্বারা উহাকে পরিষ্কারভাবে ঘষিয়া লইতে হইবে। পাতটিকে তাহার পর পরিষ্কার করিয়া উহার ওজন লইতে হইবে (m_1)। পুনরায় উহাকে, ভোল্টামিটারের মধ্যে যথাস্থানে বসাইতে হইবে।

(iv) পরিষ্কার $CuSO_4$ দ্রবণ তৈয়ারী করিয়া, ভোল্টামিটারের মধ্যে ঢালিতে হইবে এবং ক্যাথোডের যেন অধিকাংশ অংশ ঐ দ্রবণের মধ্যে ডুবিয়া থাকে।

(v) বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা চালু করিবার পূর্বে একটি পরীক্ষামূলক (dummy) ক্যাথোড ভোল্টামিটারে চাপাইয়া, রিয়োস্ট্যাটকে যথাযথ মানে রাখিতে হইবে যাহাতে, গ্যালভ্যানোমিটারে সূচকের বিক্ষেপ $45°$-তে থাকে। ইহার পর ঐ পরীক্ষামূলক ক্যাথোডটি তুলিয়া লইয়া চূড়ান্ত ক্যাথোডটি বসাইয়া, বর্তনীতে প্রবাহ ও স্টপঘড়ি একই সাথে চালু করিতে হইবে।

(vi) প্রতি পাঁচ মিনিট অন্তর, কম্যুটেটরের সাহায্যে, প্রবাহের মুখ পরিবর্তন করিয়া, প্রতিক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের সূচকের পাঠ (দুই প্রান্তেই) লইতে হইবে। 30 মিনিট পরে, প্রবাহ বন্ধ করিয়া দিয়া, ভোল্টামিটার হইতে ক্যাথোডটিকে তুলিয়া পরিষ্কার কলের জলে ধুইয়া লইতে হইবে। তাহার পর উহাকে বাতাসে শুকাইয়া, পুনরায় উহার ওজন (m_2) লইতে হইবে। গরম বাতাস ব্যবহার করা কখনোই উচিত নয়।

ফল (Results) :

তামার বিদ্যুৎরাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $(Z) = 0·000329$ গ্রাম/কুলম্ব।

গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ নিরূপণ

সারণী—1

সময় পর্যবেক্ষণ (মিনিট)	গ্যালভ্যানোমিটার সূচকের বিক্ষেপ				সূচকের গড় বিক্ষেপ (θ)
	প্রবাহ সোজামুখী		প্রবাহ বিপরীতমুখী		
	একপ্রান্তে	অপরপ্রান্তে	একপ্রান্তে	অপরপ্রান্তে	
0-5	—	—			
5-10			—	—	
10-15	—	—			
15-20			—	—	
20-25	—	—			
25-30			—	—	

ক্যাথোড পাতে সঞ্চিত তামার পরিমাণ নির্ণয়

সারণী—2

ক্যাথোড পাতের ওজন		জমা তামার পরিমাণ (W) $=(m_2-m_1)$ গ্রাম
পরীক্ষার পূর্বে (m_1) গ্রাম	পরীক্ষার পরে (m_2) গ্রাম	
......গ্রাম +......গ্রাম +......মিলিগ্রাম + মিলিগ্রাম +...... =......গ্রাম	......গ্রাম +——গ্রাম +......মিলিগ্রাম +...... ......মিলিগ্রাম +...... =......গ্রাম	......গ্রাম W)

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9.9 d) হইতে

গ্যালভ্যানোমিটারের পরিবর্তন গুণাঙ্ক

$$K=\frac{W}{10Z.\,t.\tan\theta}$$ (মনে রাখিতে হইবে যে t-এর মান এখানে সেকেণ্ডে)

$= \quad \ldots \quad \ldots \quad$ e. m. u.

সতর্কতা (Precautions) :

(i) গ্যালভ্যানোমিটারকে উপযুক্তভাবে লেভেলিং করিয়া ঠিকমত চৌম্বক মধ্যতলে রাখিতে হইবে। নচেৎ সূচকের বিক্ষেপ উভয়মুখী প্রবাহের জন্য সমান হইবে না।

(ii) ক্যাথোড খুব ভালভাবে পরিষ্কার করিয়া লইতে হইবে এবং ইহাকে কখনো উষ্ণ বাতাসে শুকানো চলিবে না। ইহার উপর যেন দ্রবণের সামান্যতম অংশও লাগিয়া না থাকে।

(iii) তুঁতের প্রতি 100 সিসি দ্রবণে 1 সিসি ঘন সালফিউরিক অ্যাসিড ও 1 সিসি অ্যালকোহল মিশাইলে ক্যাথোড পাতে জমা তামা দৃঢ় হয় এবং অ্যানোডের ক্ষারণ ঘটে না।

(iv) সদ্যপ্রস্তুত তুঁতের দ্রবণ লওয়া সর্বদা বাঞ্ছনীয়।

(v) ওজন খুব নিখুঁতভাবে (প্রয়োজনে আরোহীসহ) করা প্রয়োজন।

(vi) গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ যেন 45° বা উহার নিকটবর্তী অবস্থানে থাকে।

(vii) ক্যাথোড পাত যেন কোষের ঋণাত্মক দিকে যুক্ত হয়।

(viii) সূচকের পাঠ লওয়ার সময়ে লম্বনত্রুটি (parallax) সম্বন্ধে সাবধান হওয়া প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্র: ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার কি এবং উহার পরিবর্তন গুণাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উ: 8.4 (ক) দ্রষ্টব্য। পরিবর্তন গুণাঙ্ক একটি সংখ্যা যাহার সহিত গ্যালভ্যানোমিটারের সূচকের বিক্ষেপের (θ) tangent গুণ করিলে, উহার মধ্যে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার মান পাওয়া যায়।

প্র: এই গুণাঙ্ক কিসের উপর নির্ভর করে ?

উ: K-এর মান $\frac{rH}{2n\pi}$-এর সমান, যখন r ও n গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ ও পরিসংখ্যা এবং H, ভূ-চুম্বকের অনুভূমিক প্রাধান্য।

প্র: দুই কুণ্ডলীবিশিষ্ট হেলম্‌হোল্টজের গ্যালভ্যানোমিটার লওয়ার সুবিধা কি ?

উ: সেক্ষেত্রে দুই কুণ্ডলীর মধ্যবর্তীস্থানে প্রাবল্য ধ্রুবক থাকে।

প্র: ক্যাথোডে জমা তামা কোথা হইতে আসে ?

উ: উহা $CuSO_4$ দ্রবণ হইতে আসে এবং SO_4 আয়ন অ্যানোডের সহিত বিক্রিয়া করিয়া $CuSO^4$ তৈয়ারী করে এবং দ্রবণের গাঢ়তা স্থির রাখে। অ্যানোডের তামা ক্রমশঃ হ্রাস পায়।

প্র: ভোল্টমিটারের ভিতর তড়িৎ প্রবাহের মুখ উল্টাইলে কি হইবে বা পরীক্ষার পরবর্তী প্রবাহ ব্যবহার করিলে কি হইবে ?

উ: সেক্ষেত্রে ক্যাথোডে কোন তামা জমা হইবে না।

প্র: গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ 45° মত রাখা হয় কেন ?

উ: বিক্ষেপ 45° হইলে, পরিমাপে আনুপাতিক ভুল সর্বাপেক্ষা কম হইবে।

9·10 একটি ভোল্টামিটার ও একটি অ্যাম্মিটারের সাহায্যে তামার বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয় (Determination of Electrochemical equivalent of copper with the help of a Voltameter and an Ammeter)

মূলনীতি (Theory) :

কোন বস্তুর বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (Z) বলিতে বুঝায় যে, ঐ বস্তুর দ্রবণের মধ্য দিয়া যদি 1 কুলম্ব আধান প্রবাহিত হয় (অর্থাৎ 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 1 সেকেণ্ডের জন্য), তাহা হইলে, ঐ বস্তুর যে পরিমাণ আয়ন তড়িৎদ্বারে জমা হয়, তাহাই ঐ বস্তুর বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

এখন, ফ্যারাডের সূত্র অনুযায়ী যদি কোন দ্রবণের মধ্যে দিয়া C অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ t সেকেণ্ডের জন্য প্রবাহিত হইয়া তড়িৎদ্বারে W গ্রাম আয়ন সঞ্চিত করে, তাহা হইলে

$$W = Z.C.t \qquad \ldots \qquad (9.10a)$$

যখন Z = ঐ বস্তুর বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

সুতরাং, একটি বর্তনীতে যদি একটি অ্যাম্মিটারের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ (C) মাপা এবং ঐ প্রবাহ যদি t সেকেণ্ডে কোন ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে W গ্রাম তামা,

$CuSO_4$ দ্রবণ হইতে সঞ্চিত করে, তাহা হইলে, সূত্র (9, 10 a) হইতে Z-এর মান (তামার বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক) পাওয়া যাইবে (চিত্র 9.12) ;

$$\text{অর্থাৎ } Z = \frac{W}{C.t} \quad \cdots \quad (9.19b)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

কপার ভোল্টামিটার ; রিয়োষ্ট্যাট্ ; সঞ্চয়ক কোষের ব্যাটারী ; অ্যাম্‌মিটার ; প্লাগ চাবি ; সংযোগকারী তার ; একটি স্টপ ঘড়ি ।

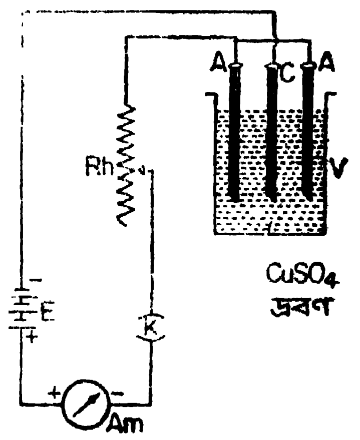
পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.12-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল ।

(ii) পূর্বোক্ত পরীক্ষায় (9.9)-তে বর্ণিত ব্যবস্থানুযায়ী, একটি পরীক্ষামূলক তামার পাত লইয়া ভোল্টামিটারে স্থাপন করিয়া, রিয়োষ্ট্যাটের সাহায্যে প্রবাহমাত্রা ঠিকমত সমন্বয় করা হইল । যাহাতে উহা 1 অ্যাম্‌পিয়ারের মত থাকে ।

(iii) ঐ পাতকে তুলিয়া লইয়া একটি পরিষ্কার করা (iii-এ বর্ণিত পূর্বের পরীক্ষায়) তামার পাত ভোল্টামিটারে স্থাপন করা হইল, যাহার ওজন (m_1) পূর্বেই লওয়া হইয়াছে ।

(iv) প্লাগচাবি এবং স্টপঘড়ি একত্রে চালাইয়া মোট 30 মিনিট প্রবাহ ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া পাঠাইতে হইবে এবং প্রতি 5 মিনিট অন্তর অ্যাম্‌মিটারের পাঠ লইতে হইবে ।



চিত্র 9.12 : তামার E.C.E. নির্ণয়

(v) 30 মিনিট পর প্রবাহ বন্ধ করিয়া, ক্যাথোড পাতটিকে তুলিয়া লইয়া, পূর্বোক্ত পরীক্ষায় প্রদত্ত বর্ণনামত, উহাকে ধুইয়া শুকাইয়া পুনরায় উহার ওজন (m_2) লইতে হইবে । সুতরাং, প্রদত্ত সময়ে জমা তামা আয়নের পরিমাণ হইবে $W = m_2 - m_1$

(vi) সম্ভব হইলে, প্রবাহের মান পরিবর্তন করিয়া (1.2 অ্যাম্‌পিয়ার এবং 0.8 অ্যাম্‌পিয়ার) আরো দুইবার সমগ্র পরীক্ষাটিকে করা যাইতে পারে ।

(vii) সঞ্চিত তামার পরিমাণ (W) জানিলে এবং অ্যাম্‌মিটার হইতে গড় প্রবাহের মান (C) এবং স্টপঘড়ি হইতে সময়ের মান (t সেকেণ্ড) জানিয়া, সমীকরণ (9.10 b) হইতে, তামার বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান (Z) পাওয়া যাইবে ।

সময়ের সহিত অ্যাম্মিটারের পাঠ

সারণী—1

সময় (মিনিট)	অ্যাম্মিটারের পাঠ (অ্যাম্পিয়ার)	অ্যাম্মিটারের গড় পাঠ (অ্যাম্পিয়ার)
0 – 5	...	
5 – 10	.	
.		...
...		
...	...	
25 – 30	...	

ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার পরিমাণ নির্ণয়

সারণী—2

ক্যাথোড পাতের ওজন		জমা তামার পরিমাণ (W) $=(m_2-m_1)$ গ্রাম
পরীক্ষার পূর্বে (m_1) গ্রাম	পরীক্ষার পরে (m_2) গ্রাম	
......গ্রাম + ...গ্রাম + ...মিলিগ্রাম + ... মিলিগ্রাম + ... = ...গ্রাম	......গ্রাম + ...গ্রাম + ...মিলিগ্রাম + ... = ...গ্রাম	......গ্রাম (W)

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9.10b) হইতে তামার বিদ্যুৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক

$$Z=\frac{W}{C.t} \quad = \quad \ldots \quad \text{গ্রাম/কুলম্ব}$$

সতর্কতা (Precautions) :

[পূর্বোক্ত পরীক্ষায় (9.9) যে সতর্কতাগুলি অবলম্বন করিতে বলা হইয়াছে, এক্ষেত্রেও সেগুলি (ii) হইতে (viii) অবলম্বন করিতে হইবে।]

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ বিদ্যুৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কাহাকে বলে ?
উঃ মূলনীতি দ্রষ্টব্য।
প্রঃ ফ্যারাডের সূত্র কি ?
উঃ [যে কোন তড়িৎবিজ্ঞানের পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ অ্যামমিটার ব্যতীত অন্ত কোন উপায়ে কি তড়িৎপ্রবাহ মাত্রা মাপা যাইতে পারে ?
উঃ একটি পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যেও প্রবাহ মাপা যাইতে পারে [অন্যান্য প্রশ্নের জন্য পূর্বোক্ত পরীক্ষার (9·9) প্রশ্নোত্তর দ্রষ্টব্য ।]

9·11. একটি পরিবাহী-তারের উপাদানের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the temperature-coefficient of resistance of the material of a wire)

মূলনীতি (Theory) :

কোন পরিবাহী তারের উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলিতে, ঐ তারের 1° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রতি একক রোধের ক্ষেত্রে যে পরিমাণ রোধের পরিবর্তন হইবে, অর্থাৎ যদি কোন পরিবাহী তারের রোধ t°_1 সেণ্টিগ্রেড ও t°_2 সেণ্টিগ্রেডে যথাক্রমে R_1 ও R_2 হয়, তাহা হইলে ঐ রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (α) হইবে

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1\ (t_2 - t_1)} \qquad (9.11a)$$

সুতরাং, একটি মিটার ব্রিজের সাহায্যে যদি পরিবাহী তারের রোধ R_1 ও R_2, যথাক্রমে t_1° সেণ্টিগ্রেড ও t_2° সেণ্টিগ্রেড মাপা যায়, তাহা হইলে (9.11 a) সমীকরণ হইতে ঐ রোধের উপাদানের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (α) পাওয়া যাইবে ।

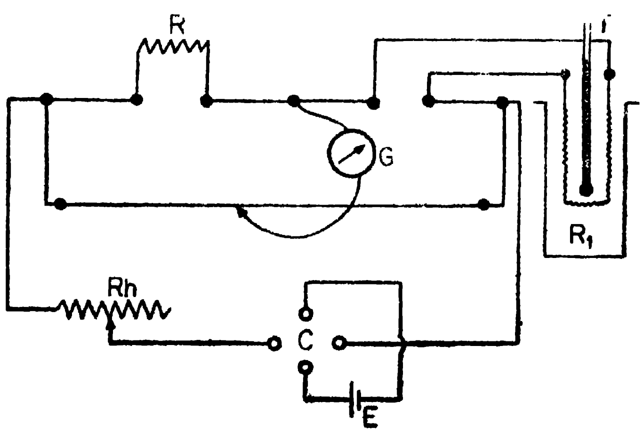
যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

রোধকুণ্ডলী, হিপ্‌সোমিটার ; মিটার ব্রিজ ; গ্যালভ্যানোমিটার ; রিয়োস্ট্যাট ; কম্যুটেটার ; রোধবাক্স ; কোষ ; তার ইত্যাদি ।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.13-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল ।

(ii) রোধ কুণ্ডলীটিকে হিপ্‌সোমিটারের মধ্যে ঢুকাইয়া উহাকে ঘরের উষ্ণতায়



চিত্র 9.13 : তারের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক নির্ণয়

(t_1°) রাখিয়া, মিটার ব্রিজের একটি ফাঁকে যুক্ত করা হইল অপর ফাঁকে একটি

রোধবাক্স লাগাইয়া পরীক্ষা (9.2) -এ বর্ণিত উপায়ে মিটার ব্রিজের সাহায্যে কুণ্ডলীর রোধ (R_1) নির্ণয় করা হইল।

(iii) যদি বাক্সে ব্যবহৃত রোধের পরিমাণ R হয় এবং সেই অবস্থায় গ্যালভ্যানো-মিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাইতে ব্রিজের শূন্য বিক্ষেপ স্থিতির (null point) অবস্থান l_1 সেমি হয়। তাহা হইলে ঐ কুণ্ডলীর রোধ R_1 হইবে (t_1° সেণ্টিগ্রেডে)।

$$\frac{R}{l} = \frac{R_1}{(100-l_1)}$$ [চিত্র 9.13 অনুযায়ী]

(iv) রোধবাক্সে R-এর মান পরিবর্তন করিয়া অন্ততঃ উহার তিনটি বিভিন্ন মান লইয়া R_1-এর মান নির্ণয় করিতে হইবে এবং প্রতিক্ষেত্রে কম্যুটেটরের সাহায্যে প্রবাহমুখ সোজা ও বিপরীত করিয়া শূন্য বিক্ষেপ স্থিতির গড় মান নির্ণয় করিতে হইবে।

(v) R-এর ঐ তিনটি মানকে ব্রিজের অপর ফাঁকে বসাইয়া এবং রোধ কুণ্ডলীকে ফাঁক পরিবর্তন করিয়া, অনুরূপভাবে আর এক দফা পাঠ লইতে হইবে।

(vi) ইহার পর t_2° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায়, কুণ্ডলীর রোধ (R_2) নির্ণয় করিতে হইবে। ইহার জন্য হিপসোমিটারের মধ্য দিয়া স্টীম চালনা করা হইল এবং থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে উষ্ণতা নির্ণয় করা হইল। যখন দেখা যাইবে যে, T-এর দ্বারা প্রদত্ত উষ্ণতা (t_1° সেণ্টিগ্রেড) অন্ততঃ 10 মিনিট স্থির আছে, তখন বুঝিতে হইবে যে, হিপসোমিটারের ভিতর উষ্ণতা স্থির মানে পৌঁছাইয়াছে।

(vii) এই অবস্থায় পুনরায় কুণ্ডলীর রোধ (R_2) নির্ণয় করিতে হইবে এবং এজন্য (ii) হইতে (v) পর্যন্ত পদ্ধতিগুলি পুনরায় অবলম্বন করিতে হইবে।

(viii) অবশেষে, t_2° সেণ্টিগ্রেড কুণ্ডলীর রোধ R_2 পাইলে, সমীকরণ (9.11 a) হইতে রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (d)-এর মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

প্রারম্ভিক উষ্ণতায় রোধকুণ্ডলীর রোধ নির্ণয়

সারণী—1

রোধকুণ্ডলীর প্রারম্ভিক উষ্ণতা (t_1) ...... সেণ্টিগ্রেড

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ব্রিজে প্রযুক্ত রোধ		গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থার জন্য স্কেলের পাঠ যখন প্রবাহ			অজানা রোধের মান (R_1) (ওহম্)	গড় মান (ওহম্)
	বামপ্রান্তে (ওহম্)	ডানপ্রান্তে (ওহম্)	সোজামুখী (সেমি)	বিপরীতমুখী (সেমি)	গড় দূরত্ব (সেমি)		
1	R	R_1	...	.	.	...	
2	R′	R_1	...		...	...	
3	R″	R_1	...		...	...	
							......
4	R_1	R	...	..	...	...	
5	R_1	R	...	...	...	...	
6	R_1	R″	...	...	...	...	

চূড়ান্ত উষ্ণতায় রোধকুণ্ডলীর রোধ নির্ণয়
সারণী—2

রোধকুণ্ডলীর চূড়ান্ত উষ্ণতা ($t_2°$)= ... সেণ্টিগ্রেড

[সারণী 1-এর অনুরূপ সারণী তৈয়ারী করিয়া কুণ্ডলীর রোধ R_2-এর মান $t_2°$ সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় নির্ণয় করিতে হইবে।]

হিসাব (Calculations) :

(ক) রোধ (R_1 বা R_2) নির্ণয়ের জন্য, মিটার ব্রিজের সূত্র

$$\frac{\text{বামফাঁকে রোধ}}{\text{ডানফাঁকে রোধ}} = \frac{\text{বামপ্রান্ত হইতে শূন্যবিক্ষেপী অবস্থানের দূরত্ব } (l_1)}{(100-l_1)}$$

(খ) সমীকরণ (9.11 a) হইতে

$$\text{উষ্ণতা গুণাঙ্ক } (\alpha) = \frac{R_2-R_1}{R_1\,(t_2-t_1)} = \quad \dots \quad \text{প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডে।}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) চূড়ান্ত উষ্ণতা নির্ণয়ের সময়ে যেন থার্মোমিটারের পাঠ অন্ততঃ 10 মিনিট একই মানে স্থির থাকে।

(ii) রোধকুণ্ডলীর সহিত যুক্ত সংযোগকারী তার দুইটির দৈর্ঘ্য যথেষ্ট বেশী হওয়া প্রয়োজন যাহাতে ফাঁক পরিবর্তন করিবার সময়ে যেন হিপ্‌সোমিটারকে সরাইতে না হয়।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক কাহাকে বলে ?

উঃ এক ওহম্ রোধের 1° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে যে পরিমাণ রোধবৃদ্ধি ঘটে তাহাকেই রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলে।

প্রঃ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কি সকল পদার্থেরই রোধবৃদ্ধি ঘটে ?

উঃ সাধারণতঃ সকল বস্তুর রোধ উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে বৃদ্ধি পায় কিন্তু কার্বনের ক্ষেত্রে উহার রোধ কমিয়া যায়।

প্রঃ এই রোধবৃদ্ধির পরিমাণ কি তাপমাত্রার স্কেলে সর্বত্র এক ?

উঃ না, স্কেলের বিভিন্ন অংশে উহার মান বিভিন্ন হয়। সেজন্য উষ্ণতা-গুণাঙ্কের যে মান নির্ণয় করা হইল, উহা গড় উষ্ণতা-গুণাঙ্ক ঐ দুই তাপমাত্রার মধ্যে।

প্রঃ রোধবৃদ্ধির এই নীতি কি কোন যন্ত্রে ব্যবহৃত হয় ?

উঃ প্ল্যাটিনাম রোধ থার্মোমিটারে এই নীতি অবলম্বন করা হয় এবং রোধবৃদ্ধির পরিমাণ মাপিয়া বস্তুর উষ্ণতা নির্ণয় করা হয়।

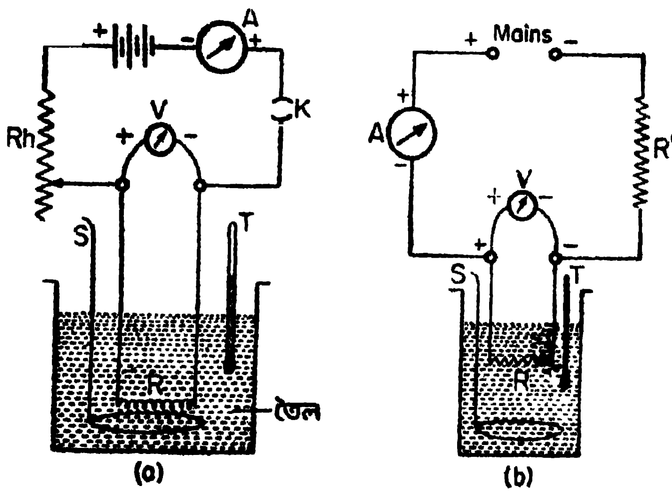
[অন্যান্য প্রশ্নোত্তরের জন্য মিটার ব্রিজ সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলি দ্রষ্টব্য।]

9·12 জুল ক্যালোরিমিটারের সাহায্যে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের (জুল তুল্যাঙ্কের) মান নির্ণয় (Determination of the Mechanical Equivalent of Heat (J) by Joule's Calorimeter)

মূলনীতি (Theory) :

এক একক তাপ উৎপন্ন করিতে যে পরিমাণ কার্য করিতে হয়, তাহাকেই 'জুল তুল্যাঙ্ক' বা তাপের 'যান্ত্রিক তুল্যাংক' বলে, এই পরীক্ষায় ঐ কার্য বৈদ্যুতিক উপায়ে করা হয়।

যদি একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়া C অ্যামপিয়ার প্রবাহ t সেকেণ্ডের জন্য প্রবাহিত



চিত্র 9.14 : জুল-তুল্যাঙ্ক নির্ণয়

হয় এবং ঐ পরিবাহীর প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে এর ফলে বিভবপ্রভেদের মান V ভোল্ট হয়, তাহা হইলে আধানের দ্বারা সাধিত কার্যের (W) পরিমাণ হইবে (চিত্র 9.14),

$$W = VCt \text{ জুল} \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.12a)$$

এই কার্য পরিবাহীর ভিতর তাপ হিসাবে প্রকাশ পায় ও এবং ঐ তাপের পরিমাণ (H) জুলের সূত্রানুসারে

$$H = \frac{VCt}{J} \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.12b)$$ [J—জুল তুল্যাঙ্ক]

এখন যদি ঐ পরিবাহীটি তৈলভর্তি ক্যালোরিমিটারের মধ্যে ডুবানো থাকে, তাহা হইলে ঐ উৎপন্ন তাপ ক্যালোরিমিটার ও তাহার ভিতরকার তৈল দ্বারা গৃহীত হইবে এবং উহাদের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে।

যদি, ক্যালোরিমিটারের ভর হয় m গ্রাম
উহার আপেক্ষিক তাপ হয় s ক্যালোরি / গ্রাম / ° সে
তৈলের ভর হয় m_1 গ্রাম
তৈলের আপেক্ষিক তাপ হয় s_1 ক্যালোরি / গ্রাম / ° সে

উহাদের প্রাথমিক উষ্ণতা হয় $\theta_1°$ সে

,, চূড়ান্ত ,, ,, $\theta_2°$ সে

তাহা হইলে, যদি উৎপন্ন সমস্ত তাপ উহারা গ্রহণ করে,

তখন গৃহীত তাপ $(H) = (ms+m_1s_1)(\theta_2° - \theta_1°)$ ক্যালোরি ... (9.12c)

সমীকরণ (9.12b) ও (9.12c) হইতে

$$\frac{VCt}{J} = (ms+m_1s_1)(\theta_2° - \theta_1°)$$

বা, $J = \dfrac{VCt}{(ms+m_1s_1)(\theta_2° - \theta_1°)}$ জুল / ক্যালোরি ... (9.12d)

শীতলনের জন্য সংশোধন

নিউটনের শীতলনের সূত্র অনুযায়ী, ক্যালোরিমিটার ও উহার মধ্যস্থ তৈল, শীতলনের জন্য কিছু তাপ হারাইবে এবং উহার জন্য চূড়ান্ত উষ্ণতার কিছু সংশোধন প্রয়োজন।

যেহেতু নিউটনের সূত্রানুযায়ী, শীতলনের হার উষ্ণতা পার্থক্যের সহিত সমানুপাতী, সেজন্য t সেকেণ্ডের জন্য শীতলনের পরিমাণ হইবে, গড় শীতলনের হার এবং সময়ের গুণফলের সমান

অর্থাৎ, t সেকেণ্ডের জন্য শীতলনের পরিমাণ

= গড় শীতলনের হার × সময় (t)

= $\frac{1}{2}$ (উষ্ণতাহ্রাসের প্রাথমিক হার + উষ্ণতাহ্রাসের চূড়ান্ত হার) × সময়

= $\frac{1}{2}$ উষ্ণতাহ্রাসের চূড়ান্ত হার × সময় [প্রাথমিক হার শূন্য]

= উষ্ণতাহ্রাসের হার × $\frac{1}{2}$ সময় (t)

সুতরাং শীতলনের জন্য সংশোধনের পরিমাণ হইবে, t সেকেণ্ড সময়ে যে চূড়ান্ত উষ্ণতা (θ_2) প্রাপ্ত হইল, তাহার পর $t/_2$ সেকেণ্ড সময়ে ক্যালোরিমিটার ও উহার মধ্যস্থ তরলের যে উষ্ণতা হ্রাস পাইল। যদি ঐ $t/_2$ সেকেণ্ডে, ক্যালোরিমিটার ও তরলের উষ্ণতা θ_3 °সে-এ নামিয়া আসে, তাহা হইলে, শীতলনের জন্য সংশোধন ধরিয়া, চূড়ান্ত উষ্ণতার মান হইবে $[\theta_2 + (\theta_2 - \theta_3)]°$ সেন্টিগ্রেড।

সুতরাং, সংশোধন করিয়া সমীকরণ (9·12 d) হইবে

$J = \dfrac{VCt}{(ms+m_1s_1)[\theta_2+(\theta_2-\theta_3)-\theta_1]}$ জুল / ক্যালোরি ... (9.12e)

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

জুল ক্যালোরিমিটার ; উপযুক্ত মানের রোধ (R' বা Rh), অ্যাম্মিটার ; ভোল্টমিটার ; চাবি ; থার্মোমিটার ($^1/_5$° সে পাঠক্ষম) ; তুলাযন্ত্র ; স্টপঘড়ি ; ওজনবাক্স ; উপযুক্ত পরিমাণ তৈল (আঃ তাঃ জানা) ; সংযোগকারী তার ইত্যাদি।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.14-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগসাধন করা হইল। যদি ব্যাটারী হইতে প্রবাহ লওয়া হয়, তাহা হইলে চিত্র 9.14 (a) অনুসারে বর্তনীর সংযোগ

করিতে হইবে। কিন্তু যদি পরীক্ষাগারে মূল বা মুখ্য তার (mains supply) হইতে প্রবাহ লওয়া হয়, তাহা হইলে, চিত্র 9.14 (*b*) অনুযায়ী ব্যবস্থা করিতে হইবে।

(ii) ক্যালোরিমিটারকে পরিষ্কার করিয়া আলোড়ক সমেত উহার ওজন (m) লওয়া হইল এবং উহাতে উপযুক্ত পরিমাণ তৈল ঢালিয়া উহার ওজন পুনরায় লওয়া হইল। এই দুই ওজনের পার্থক্য হইতে গৃহীত তৈলের ওজন (m_1) পাওয়া যাইবে।

(iii) শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত রোধ (R বা Rh) এমনভাবে স্থির করা হইল যাহাতে বর্তনীতে 1 অ্যাম্পিয়ার বা তদপেক্ষা সামান্য বেশী প্রবাহমাত্রা প্রবাহিত হয়। থর্মোমিটার (T)-কে তরলের মধ্যে ডুবাইয়া উহার প্রাথমিক উষ্ণতা (θ_1°) নির্ণয় করা হইল।

(iv) বর্তনীতে প্রবাহ ও স্টপঘড়ি একই সঙ্গে চালনা করা হইল। আলোড়কের সাহায্যে তরলকে আলোড়ন করা হইতে লাগিল। প্রতি 1 মিনিট অন্তর তরলের উষ্ণতা লিপিবদ্ধ করা হইতে লাগিল এবং অ্যাম্মিটার ও ভোলল্টমিটারের পাঠ লওয়া হইতে লাগিল। এইভাবে পাঠ লওয়া হইতে লাগিল যতক্ষণ উষ্ণতা বৃদ্ধির পরিমাণ 6° হইতে 8° ডিগ্রী পরিমাণ হয়।

(v) বর্তনীতে প্রবাহ বন্ধ করা হইল এবং ঘড়িও বন্ধ করা হইল। তরলকে আলোড়ন করা চালিতে থাকিল এবং চরম উষ্ণতার মান (θ_2°) লিপিবদ্ধ করা হইল।

(vi) চরম উষ্ণতার মান প্রাপ্ত হইবার পরে, যে সময় ধরিয়া প্রবাহ বর্তনীতে চলিয়াছে (t সেকেণ্ড), তাহার অর্ধেক সময়ের ($t/_2$ সেকেণ্ড) জন্য তাপমাত্রা কোথায় নামে (θ_3°). তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। এই সময়েও তরলকে আলোড়ন করিতে হইবে অর্থাৎ ($t+t/_2$) সেকেণ্ড পর্যন্ত তরলের উষ্ণতা (θ_3°) থার্মোমিটার হইতে পড়িয়া লিপিবদ্ধ করিতে হইবে।

(vii) সমীকরণ (9.12 *e*) হইতে রাশিগুলির মান বসাইয়া তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের (J) মান নির্ণয় করিতে হইবে।

ফল (Results) :

ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ (s)= ... ক্যালোরি/গ্রাম/°সে

তরলের আপেক্ষিক তাপ (s_1)= ... ক্যালোরি/গ্রাম/° সে

ক্যালোরিমিটার ও তরলের ওজন নির্ণয়

সারণী—1

ক্যালোরিমিটার ও আলোড়কের ওজন (m) গ্রাম	ক্যালোরিমিটার এবং তরল ও আলোড়ক সহ ওজন (m_2) গ্রাম	গৃহীত তরলের ওজন $(m_2-m)=m_1$ গ্রাম
.........গ্রাম+..........গ্রাম	.........গ্রাম+.........গ্রাম	............গ্রাম + ...গ্রাম
+.........মিলিগ্রাম—+...	+.........মিলিগ্রাম—+...	+.........মিলিগ্রাম...+...
............মিলিগ্রাম+......	............মিলিগ্রাম...+...	............মিলিগ্রাম+......
=...............গ্রাম	=...............গ্রাম	=...............গ্রাম

তরলের সময়—উষ্ণতার পাঠ
সারণী—2

সময় (মিনিট)	তরলসহ ক্যালোরিমিটারের উষ্ণতা (°সে)	ভোল্টমিটার পাঠ (V ভোল্ট)	অ্যাম্মিটার পাঠ (C অ্যাম্প)	ভোল্টমিটারের গড় পাঠ (ভোল্ট) (V)	অ্যামমিটারের গড় পাঠ (অ্যাম্প) (C)	তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধি t – সেকেণ্ডে $(\theta_2-\theta_1)$ °সে	t/2 সেকেণ্ডে তরলের উষ্ণতাহ্রাস $(\theta_2-\theta_3)$ °সে	তরলের সংশোধিত চরম উষ্ণতাবৃদ্ধি $[\theta_2+(\theta_2-\theta_3)-\theta_1]$°সে
0	.. (θ_1)	...	. .					
1	...	...	...					
2	..	...	...					
3	...	.	...	..	...	...	...	...
4	.	.	.					
5*	..	.	.					
(= t)								
(প্রবাহ বন্ধ করা হইল।								
. .	(θ_2)							
..	.							
...	.. (θ_3)							
(t + t/2)								

প্রবাহ বন্ধ করিবার আরো কয়েক সেকেণ্ড পরে চরম উষ্ণতা (θ_3) প্রাপ্ত হয়। সেই সময়টুকু লিপিবদ্ধ করিতে হইবে এবং উষ্ণতাহ্রাস-এর পাঠ লইবার সময়ে ঐ পরবর্তী সময়টুকু ধরিয়া, তাহার অর্ধেক সময় হিসাব করিয়া গণনা করিতে হইবে।

হিসাব (Calculations) :

সমীকরণ (9.12e) হইতে সমস্ত রাশিগুলির মান বসাইয়া তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের (J) মান হইবে

$$J=\frac{VCt}{(ms+m_1s_1)\,[\theta_2+(\theta_2-\theta_3)-\theta_1]}$$

$$= \quad \cdots \quad \text{জুল/ক্যালোরি।}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) পরিবাহী কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা অন্ততঃ 1 অ্যাম্পিয়ার হইতে 2 অ্যাম্পিয়ারের মধ্যে রাখিতে হইবে। নচেৎ, 6°—8° সে উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য অনেক সময় লাগিয়া যাইবে এবং তাহার ফলে বিকিরণজনিত তাপক্ষয়ের পরিমাণ বেশী হইবে।

(ii) থার্মোমিটারের বাল্ব যেন কুণ্ডলীকে ক্যালোরিমিটারের মধ্যে স্পর্শ না করে। তাহা হইলে ইহা অনেক বেশী উষ্ণতা দেখাইবে। তবে উহা যেন তরলের মধ্যে ডুবানো অবস্থায় থাকে।

(iii) ব্যবহৃত পাবিবাহীর কুণ্ডলীর রোধের উষ্ণতাগুণাঙ্ক কম হওয়া বাঞ্ছনীয়।

(iv) অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারেরর শূন্য ত্রুটি থাকিলে, উহা সংশোধন করা বা পাঠগ্রহণে সেগুলির জন্য যথাযথ সংশোধন করা প্রয়োজন।

(v) উষ্ণতা লওয়াকালে, তরলকে সর্বদা সাবধানে আলোড়ন করিতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক কাহাকে বলে এবং ইহাকে J দ্বারা প্রকাশ করা হয় কেন?

উঃ মূলনীতিতে সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য। স্যার জেমস্ জুলের নামানুসারে ইহাকে J দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

প্রঃ J-এর মান আনুমানিক কত?

উঃ সি. জি. এস. পদ্ধতিতে এক ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন করিতে 4·2 জুল কার্য করিতে হয় এবং এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে 778 ফুট-পাউণ্ড কার্য করিতে হয় এক ব্রিটিশ থার্মাল ইউনিট তাপ উৎপন্ন করিতে।

প্রঃ এখানে কে কার্য করিতেছে?

উঃ পরিবাহীর ভিতর মুক্ত ইলেকট্রনগুলি প্রবাহ চলাকালে যখন গতিশীল হয়, তখন তাহাদের আন্তঃপরমাণু দূরত্বের মধ্যকার রোধ অতিক্রম করিতে হয়। এইভাবেই তাহারা কার্য করে এবং সেই কার্য তাপ হিসাবে বাহিরে প্রকাশ পায়।

প্রঃ এই পদ্ধতিতে কি তরলের আপেক্ষিক তাপ মাপা যায়?

উঃ হ্যাঁ, সমীকরণ (9.12e) হইতে দেখা যায় যে, যদি J-এর মান ধরিয়া লওয়া যায়, তাহা হইলে s_1-এর মান পাওয়া যাইবে এই পরীক্ষা হইতে।

প্রঃ এই পরীক্ষায় ক্যালোরিমিটারে তেলের পরিবর্তে জল লইলে কি হইবে ?

উঃ প্রথমতঃ জল কিছু উত্তপ্ত হইলে বাষ্পীভবন দ্রুত হইবে, ফলে তরের পরিমাপ স্থির থাকিবে না। দ্বিতীয়তঃ যেহেতু জলের আপেক্ষিক তাপ বেশী, সেজন্য উহার উষ্ণতা 6°—8° সে উঠাইতে অনেক সময় লাগিবে এবং ফলে তাপবিকিরণ খুব বেশী হইবে।

প্রঃ পরিবাহী রোধের দ্বারা যে তাপ উৎপন্ন হয়, তাহার পরিমাণ কিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ উহা প্রবাহমাত্রার বর্গের সহিত সমানুপাতিক এবং সময় ও কুণ্ডলীর রোধের সহিত সমানুপাতিক।

প্রঃ সমপ্রবাহের পরিবর্তে এই পরীক্ষায় কি পরিবর্তীপ্রবাহ ব্যবহার করা চলে ?

উঃ হ্যাঁ চলে, সেক্ষেত্রে যথোপযুক্ত অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটার (পরিবর্তী প্রবাহের জন্য) লইতে হইবে।

প্রঃ তাপবিকিরণের জন্য সংশোধনকার্য না করিলে, J-এর মান কম হইত না বেশী হইত ?

উঃ কার্যকরী সূত্র হইতে দেখা যায় যে, ঐ সংশোধন না করিলে, J-এর মান বেশী হইত।

প্রঃ জুলের সূত্রগুলি বল।

উঃ যে কোন পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।

প্রঃ কুণ্ডলীর রোধ বেশী না কম হওয়া বাঞ্ছনীয় ?

উঃ রোধ কম হওয়া ভাল, সেক্ষেত্রে নির্দিষ্ট বিভব-পার্থক্যের জন্য উৎপন্নতাপ সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে।

প্রঃ প্রবাহ কেন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায় ? উহা ত' তরলের মধ্য দিয়াও চলিয়া যাইতে পারিত।

উঃ যেহেতু তরলের রোধ কুণ্ডলীর রোধ অপেক্ষা বহুগুণ বেশী, সেজন্য প্রবাহ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়াই প্রবাহিত হয়।

প্রঃ কেন উষ্ণতাবৃদ্ধির পরিমাণ 6°—8° সে-এর মধ্যে রাখা হয় ?

উঃ উহার বেশী উষ্ণতাবৃদ্ধিতে, বিকিরণক্ষয় খুব বেশী হইবে এবং ফলে, পরীক্ষায় লব্ধ J-এর মান সঠিক পাওয়া যাইবে না।

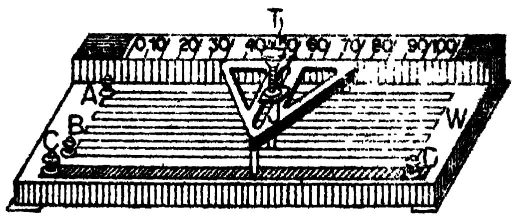
প্রঃ অন্য কোন উপায়ে আরো সঠিকভাবে কি J-এর মান পাওয়া যায় ?

উঃ হাঁ, Callendar & Barne-এর পদ্ধতিতে আরো নিখুঁতভাবে J-এর মান পাওয়া যায়।

9·13 পোটেন্সিয়োমিটার ও উহার কার্যক্রম (Potentiometer and its working principle)

যে যন্ত্রের সাহায্যে দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য বা বিভবপাত (potential drop) পরিমাপ করা যায়, তাহাকে পোটেন্সিয়োমিটার বলে। যে ধরনের পোটেন্সিয়োমিটার সাধারণতঃ পরীক্ষাগারে ব্যবহার করা হয়। তাহা চিত্র 9.15-এ দেখানো হইয়াছে।

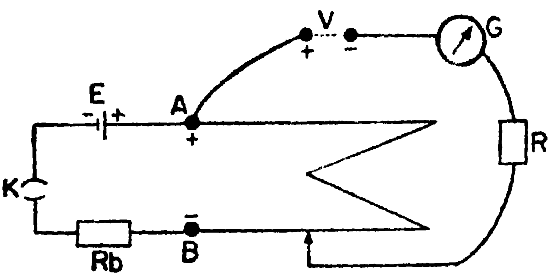
ইহাতে একটি কাঠের বোর্ডে (*w*) সাধারণতঃ 10টি সমব্যাসসম্পন্ন একই ধরনের তার সমান্তরালভাবে আটকানো থাকে। উহাদের প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য 1 মিটার, এবং মোট তারের দৈর্ঘ্য (*AB*) সেজন্য 10 মিটার। তারগুলির প্রান্তবিন্দুসমূহ মোটা তামার পাতের দ্বারা পরস্পর শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করা থাকে। তারগুলির নীচে একটি অন্তরক হিসাবে কাচের পাত থাকে কাঠের পাটাতনের উপর একটি জকি (*J*) একটি মিটার স্কেলের উপর চলাফেরা করিতে পারে এবং ঐ জকির দুইটি পায়া (উপরের দিকে) একটি কাটা গর্তের মধ্য দিয়া চলাচল করে এবং তৃতীয় পায়াটি একটি তামার পাতের (*CD*) উপর চলিতে পারে। *C* অথবা *D* বিন্দুতে তারের সাহায্যে জকির সহিত সংযোগ সাধন করা যায়। জকির ফ্রেমের উপর একটি স্প্রিংযুক্ত বোতাম (*T*) থাকে। যাহাকে টিপিলে, ঐ স্প্রিংসংলগ্ন একটি দণ্ডের নিম্নপ্রান্ত উহার নিম্নস্থ তারের সহিত সংযোগসাধন করে। এই চাবিটিকে উপরে-নীচে সারাইয়া বিভিন্ন তারের উপর আনা যায়। সংযোগসাধিত বিন্দুর সঠিক দৈর্ঘ্য কত, তাহা তার সংখ্যা ও স্কেল হইতে জকির সূচকের পাঠ হইতে জানা যায়।



চিত্র 9.15 : পোটেন্সিয়োমিটার

যন্ত্রের কার্যক্রম নীতি

পোটেন্সিয়োমিটারের কার্যক্রম নীতি চিত্র 9.16 হইতে বুঝা যাইবে। যদি দুইটি পৃথক বিভব প্রভেদ V_1 ও V_2 একটি গ্যালভ্যানোমিটারের মাধ্যমে বিপরীতমুখে (in oppsition) শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত হয়, তাহা হইলে যদি বদ্ধ পরিপথে ঐ অবস্থায় গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া কোন প্রবাহ না যায়, তখন, কার্শফের সূত্রানুযায়ী $V_1 = V_2$.



চিত্র 9.16 : পোটেন্সিয়োমিটারের নীতি

যখন পোটেন্সিয়োমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহ যায়, তখন উহার তারগুলির প্রান্তবিন্দুদ্বয় *A* ও *B*-এর মধ্যে একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। তারগুলির উপর দিয়া জকিকে চালনা করিলে, একটি পরিবর্তনশীল বিভবপাত (variable potential drop) পাওয়া যাইবে। একটি অজানা বিভব পার্থক্য (*V*) মাপিতে হইলে, জকিকে যদি একটি তারের উপর এমন একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে রাখা যায়, যাহাতে ঐ অবস্থায় গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ শূন্য হয়, তাহা হইলে, সেই অবস্থায় জকি নির্দিষ্ট তারের যে বিন্দুকে স্পর্শ করে, তাহাকে শূন্য বিক্ষেপী অবস্থান (null point) বলে। ঐ অবস্থায় তারের উপরের

প্রান্তবিন্দু A হইতে জকি যে বিন্দুতে তারকে স্পর্শ করিয়াছে, সেই বিন্দু পর্যন্ত তারটির মধ্যে যে বিভবপাত ঘটিয়াছে, তাহাই অজানা বিভব পার্থক্য (V)-এর সমান হইবে। পোটেন্সিয়োমিটার বর্তনীতে সর্বদা গ্যালভ্যানোমিটারকে ক্ষতির হাত হইতে রক্ষা করিবার জন্য উহার সহিত শ্রেণীসমবায়ে একটি উচ্চমানের রোধ (R) লাগানো হয়। সর্বদা স্মরণ রাখিতে হইবে যে, A বিন্দু যেন, বর্তনীতে যুক্ত কোষের যে প্রান্তের (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) সহিত লাগানো থাকে, অজানা বিভবপার্থক্যের ঠিক সেই প্রান্তও (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) যেন A বিন্দুতে যুক্ত হয়। ইহা না হইলে, কোন অবস্থাতেই জকির দ্বারা শূন্য বিক্ষেপী অবস্থান (null point) তারের উপর পাওয়া যাইবে না।

যেহেতু পোটেন্সিয়োমিটারের তারগুলি সমজাতীয় এবং সমব্যাস-সম্পন্ন, সুতরাং ঐ তারের সর্বত্র, একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভবপাতের পরিমাণ সমান। এই যন্ত্রের সাহায্যে কাজ করিবার সময়ে প্রায়ই এই একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভবপাতের মান (ρ) জানার প্রয়োজন হয়। বিভিন্ন উপায়ে, ইহার মান নির্ণয় করা যায়।

যদি পোটেন্সিয়োমিটারের মধ্য দিয়া i অ্যাম্‌পিয়ার প্রবাহ প্রবাহিত হয় এবং যদি পোটেন্সিয়োমিটারের তারগুলির মোট রোধ হয় Rp, এবং যদি মোট তারের সংখ্যা হয় n, যাহাদের প্রত্যেকের দৈর্ঘ্য 1 মিটার, তাহা হইলে,

তারের একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভবপাতের পরিমাণ

$$\rho = \frac{i\,R_p}{100n} \text{ ভোল্ট / সেমি} \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.13a)$$

আবার যদি প্রবাহ i-এর মান জানা না থাকে কিন্তু কোষের তড়িচ্চালক বল জানা থাকে (E), তাহা হইলে,

$$i = \frac{E}{R_b + R_p} \text{ এবং } \rho = \frac{E.R_p}{100n(R_b + R_p)} \text{ ভোল্ট/সেমি} \quad \cdots \quad (9.13b)$$

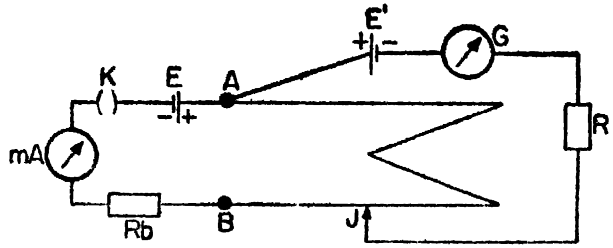
প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য, যে বিভব পার্থক্যের মান (V) মাপিতে হইবে, তাহা যেন সর্বদা A ও B বিন্দুর মধ্যে মোট বিভবপাতের অপেক্ষা (V_A-V_B) কম হয়, নচেৎ এই পদ্ধতি কার্যকরী হইবে না।

9·14 একটি জানা রোধবিশিষ্ট পোটেন্সিয়োমিটার ও একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটারের সাহায্যে একটি কোষের তড়িচ্চালক বলের মান নির্ণয় (Measurement of the E. M. F. of a cell with the help of a potentiometer of known resistance and a milliammeter).

মূলনীতি (Theory) :

যদি পোটেন্সিয়োমিটারের মধ্য দিয়া i মিলিঅ্যাম্‌পিয়ার পরিমাণ প্রবাহ যায় (চিত্র

9.17) এবং যদি পোটেন্সিয়োমিটারের রোধ R_p হয় এবং উহার তারের মোট দৈর্ঘ্য L সেমি. হয়, তাহা হইলে পোটেন্সিয়োমিটারের তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভবপাতের



চিত্র 9.17 : কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয়

পরিমাণ হইবে

$$\rho = \frac{iR_p}{10^8 \times 1000L} \qquad (9.14a)$$

এখন একটি কোষ, যাহার তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ (E') নির্ণয় করিতে হইবে, তাহার জন্য যদি পোটেন্সিয়োমিটারের l সেমি. দৈর্ঘ্য দূরে, গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থা (null point) পাওয়া যায়। তাহা হইলে,

$$E' = \rho.l = \frac{i\,R_p\,l}{10^6 L} \text{ ভোল্ট} \quad \ldots \quad (9.14b)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পোটেন্সিয়োমিটার (জানা রোধের) ; মিলিঅ্যাম্মিটার ; ব্যাটারী ; রোধবাক্স (R_b) ; প্লাগচাবি ; গ্যালভ্যানোমিটার ; উচ্চমানের রোধবাক্স (R) ; কোষ (যাহার তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করিতে হইবে)।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.17-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল, প্রথমে পোটেন্সিয়োমিটার বর্তনী এবং পরে গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীর সংযোগ করিয়া, উহাদের উভয়কে একটি তারের দ্বারা যুক্ত করা হইল, স্মরণ রাখিতে হইবে যেন, E ও E' কোষের ধনাত্মক মেরুদ্বয় (+) যেন একসাথে যুক্ত হয়।

(ii) R_b বাক্সে রোধের মান শূন্য করিয়া এবং R বাক্সে যথেষ্ট রোধ প্রয়োগ করিয়া, জকিকে একবার পোটেন্সিয়োমিটারের প্রথম তারে এবং পরে শেষ তারে সংযোগ করিয়া, গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা হইল। যদি E-এর তড়িচ্চালক বল E'-এর অপেক্ষা বেশী হয়, তাহা হইলে অবশ্যই, এই দুই অবস্থায় বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হইতে দেখা যাইবে। যদি তাহা না হয়, তাহা হইলে বর্তনীতে কোন সম্ভাব্য ত্রুটির সন্ধান করিতে হইবে।

(iii) গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ উভয়দিকে পাইলে, R_b বাক্সের রোধ এরূপভাবে প্রয়োগ করা হইল, যাহাতে শূন্যবিক্ষেপী অবস্থান (null point) পোটেন্সিয়োমিটারের শেষ তারের মাঝামাঝি স্থানে পাওয়া যায়। R বাক্সের রোধ শূন্য করিয়া, ঐ অবস্থান সূক্ষ্ম ও সঠিকভাবে নির্ণয় করা হইল। মিলিঅ্যাম্মিটারে তখন প্রবাহের পরিমাণের পাঠ লওয়া হইল, এবং জকির অবস্থান, স্কেল হইতে এবং তারের সংখ্যা লিপিবদ্ধ করা হইল।

(iv) এইভাবে, R_b বাক্সের রোধের মান পরিবর্তন করিয়া, অন্য এক প্রবাহের মানের (i) জন্য অনুরূপভাবে পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করা হইল। এইরূপে, অন্ততঃ তিনটি প্রবাহ-মাত্রার জন্য, পোটেন্সিয়োমিটারের দশম, নবম ও অষ্টম তারে শূন্যবিক্ষেপী অবস্থান নির্ণয় করিয়া পাঠ লইতে হইবে। প্রতিবার পাঠ লওয়ার সময়ে (বিক্ষেপহীন অবস্থায়) অন্ততঃ তিনবার স্কেলের পাঠ লইয়া তাহাদের গড় মান লইতে হইবে।

ফল (Results) :

ব্যাটারীর (E) তড়িচ্চালক বল (পরীক্ষার পূর্বে) = ...ভোল্ট

" " " (পরীক্ষার পরে) = ...ভোল্ট

পোটেন্সিয়োমিটার তারের মোট রোধ (R_p) = ...ওহম্

" মোট দৈর্ঘ্য (L) = ...সেমি.

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মিলিঅ্যাম্মিটারের পাঠ (i)	গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থা			তারের মোট দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	কোষের তড়িচ্চালক বল (E') (ভোল্ট)	গড় মান (E') (ভোল্ট)
		যে তারে পাওয়া যায়	স্কেলের যে বিন্দুতে পাওয়া যায় (সেমি)	স্কেলের গড় পাঠ (সেমি)			
1	...	...	... ...	...	...	...	
2	...	...	... ...	...	...	...	...
3	...	...	... ...	...	...	...	

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9.14b) হইতে, অজানা কোষের তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ

$$E' = \frac{i\, R\rho.\, l}{10^6.\, L} = \ldots \text{ভোল্ট}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) E ও E' কোষের মেরুদ্বয়কে ঠিক মত (পূর্বে বর্ণিত) সংযোগ করিতে হইবে।

(ii) পোটেনশিয়োমিটার বর্তনীতে তড়িচ্চালক বল পরীক্ষাকালে ধ্রুবক থাকা প্রয়োজন। সেজন্য ব্যাটারী (E) সর্বদা একটি বা দুইটি সঞ্চয়ক কোষ লইতে হইতে হইবে।

(iii) E-এর মান সর্বদা E'-অপেক্ষা বেশী হইতে হইবে।

(iv) R-এর মান কমাইয়া বিক্ষেপহীন অবস্থা সূক্ষ্মভাবে নির্ণয়কালে দেখিতে হইবে যে, স্কেলে জকিকে 1 সেমি বিক্ষেপহীন অবস্থানের এদিক-ওদিক সরাইলে যেন গ্যালভ্যানোমিটারে বিপরীতদিকে বিক্ষেপ ঘটে।

(v) এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ কম হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রশ্নোত্তর

প্র: কোষের তড়িচ্চালক বল ও বিভব-বৈষম্যের মধ্যে পার্থক্য কি ?

উ: মুক্ত বর্তনীতে (open circuit) কোষের মেরুদ্বয়ের মধ্যেকার বিভব প্রভেদ হইল উহার বিভব-বৈষম্য কিন্তু রুদ্ধ বর্তনীতে (closed circuit) যখন কোষ প্রবাহ পাঠায়, তখন যে বিভব প্রভেদ পাওয়া যায়, তাহা উহার প্রকৃত তড়িচ্চালক বল। অর্থাৎ তড়িচ্চালক বল=বহির্বর্তনীর মধ্যে বিভব-বৈষম্য+অন্তর্বর্তনীর মধ্যে বিভব-বৈষম্য।

প্র: মিলিঅ্যাম্মিটার না থাকিলে অন্য কোন পদ্ধতিতে কি E'-এর মান পাওয়া যাইবে ?

উ: পাওয়া যায়। [9·13-এ বর্ণিত যন্ত্রের কার্যক্রম নীতি (সমীকরণ 9·13b) দ্রষ্টব্য।]

প্র: একটি ভোল্টমিটারের সাহায্যেও ত' E'-এর মান পাওয়া যাইত। সেক্ষেত্রে এই পদ্ধতি অবলম্বনের সার্থকতা কি ?

উ: ভোল্টমিটার শুধু বহির্বর্তনীতে বিভব প্রভেদ ($P.D.$) দেখায়। উহার দ্বারা তড়িচ্চালক বল (E') পাওয়া যায় না, যদি অন্তর্বর্তী রোধ খুব বেশী হয়।

প্র: এই পরীক্ষা সফল হওয়ার সর্ত কি ?

উ: প্রথমতঃ E-এর মান E'-অপেক্ষা বেশী হইতে হইবে। দ্বিতীয়তঃ E ও E'-এর ধনাত্মক মেরুদ্বয় একই বিন্দুতে যুক্ত হইতে হইবে।

প্র: রোধ R লওয়ার সার্থকতা কি ?

উ: উহা গ্যালভ্যানোমিটারকে ক্ষতির হাত হইতে বাঁচায়।

প্র: বিক্ষেপহীন অবস্থানের সঠিক মান কি R-এর মানের উপর নির্ভর করে ?

উ: R-এর মান শূন্য করিয়া, বিক্ষেপহীন অবস্থান সঠিকভাবে নির্ণীত হওয়ার পর, আর ঐ অবস্থানের পাঠ R-এর মানের উপর নির্ভর করে না।

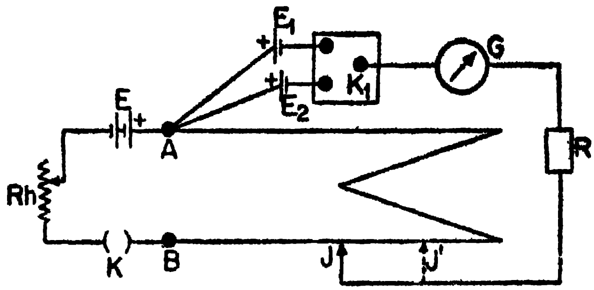
প্র: বিক্ষেপহীন অবস্থানের পাঠ নবম / দশম ইত্যাদি তারে লওয়া হয় কেন ?

উ: তারের সংখ্যা বেশী হইলে, মোট দৈর্ঘ্য বেশী হয় এবং সেজন্য দৈর্ঘ্য পরিমাপে আনুপাতিক ও শতকরা ভুলও কম হয়।

9·15 পোটেন্সিয়োমিটারের সাহায্যে দুইটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা (Comparison of E. M. F.'s of two cells with the help of a potentiometer).

মূলনীতি (Theory) :

পোটেন্সিয়োমিটার বর্তনীতে যুক্ত ব্যাটারী (E) যদি পোটেন্সিয়োমিটারে এরূপ পরিমাণ প্রবাহ পাঠায় যে, দুইটি কোষকে (E_1 ও E_2) পৃথকভাবে গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীতে যুক্ত করিলে, পোটেন্সিয়োমিটার তারে যথাক্রমে l_1 ও l_2 সেমি দূরে শূন্যবিক্ষেপ অবস্থান (null points) পাওয়া যায়, এবং যদি পোটেন্সিয়োমিটার তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে বিভবপাতের পরিমাণ ρ হয়, (চিত্র 9.18), তাহা হইলে



চিত্র 9.18 : দুইটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা

$$E_1 = \rho l_1 \quad \text{এবং} \quad E_2 = \rho l_2$$

সুতরাং, $$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.15a)$$

অতএব, দুইটি কোষের জন্য পোটেন্সিয়োমিটার তারে যথাক্রমে দুইটি শূন্যবিক্ষেপ অবস্থান নির্ণয় করিয়া, তাহাদের দৈর্ঘ্যের অনুপাত নিরূপণ করিলেই, ঐ অনুপাত হইবে কোষ দুইটির তড়িচ্চালক বলের অনুপাতের সমান।

আবার ঐ দুইটি কোষের মধ্যেকার একটি তড়িচ্চালক বলের মান (E_2) যদি জানা থাকে, তাহা হইলে সমীকরণ (9·15 a) হইতে অপর কোষটির তড়িচ্চালক বলের মান (E_1) পাওয়া যাইবে,

অর্থাৎ, $$E_1 = E_2 \cdot \frac{l_1}{l_2}. \quad (9.15b)$$

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পোটেন্সিয়োমিটার ; ব্যাটারী ; রিয়োস্ট্যাট : প্লাগচাবি ; দুই-মুখী চাবি ; গ্যালভ্যানোমিটার ; রোধবাক্স ; দুইটি অজানা মানের কোষ।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.18-এ বর্ণিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগসাধন করা হইল। রিয়োস্ট্যাট-এর মান কমাইয়া, পোটেন্সিয়োমিটার তারের দুইপ্রান্তিক বিন্দুর মধ্যে বিভবপ্রভেদের মান

এমন করা হইল যাহাতে দুইটি কোষের ক্ষেত্রে (E_1 ও E_2) পৃথকভাবে গ্যালভ্যানোমিটার মাধ্যমে জকির সহিত যোগ করিয়া, পোটেন্সিয়োমিটার তারের শেষের দিকে শূন্যবিক্ষেপ অবস্থা (null point) পাওয়া যায়।

(ii) দুই-মুখী চাবির (K_1) সাহায্যে গ্যালভ্যানোমিটারকে একবার E_1-এর সহিত এবং আর একবার-E_2-এর সহিত যুক্ত করিয়া, দুইবার পৃথকভাবে গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা দেখিতে হইবে।

(iii) রিয়োষ্ট্যাটে রোধের মান এমন করিতে হইবে যে, E_1 ও E_2-এর মধ্যে যাহার মান বেশী (যাহার জন্য বেশী দৈর্ঘ্যে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যায়), তাহার জন্য যেন প্রথমবারে, বিক্ষেপহীন অবস্থা দশম তারে পাওয়া যায়। এই অবস্থাতেই, E_2-এর জন্য পাঠ লইতে হইবে।

(iv) এরপর রিয়োষ্ট্যাটে রোধের মান পরিবর্তন করিয়া, ঐ E_1-এর জন্য পাঠ পোটেন্সিয়োমিটারের নবম তারে লইতে হইবে এবং সংশ্লিষ্ট পাঠ, E_2-এর জন্য লইতে হইবে। এইভাবে, রিয়োষ্ট্যাটের রোধের মান পুনরায় পরিবর্তন করিয়া, আর এক পর্যায় পাঠ লইতে হইবে এমনভাবে যে, E_1-এর জন্য পাঠ যেন অষ্টম তারে পাওয়া যায়।

(v) এইভাবে, রিয়োষ্ট্যাটে রোধের তিনটি মানের জন্য তিন দফা পাঠ লইয়া, প্রতিক্ষেত্রে $\frac{E_1}{E_2}$-এর অনুপাত নির্ণয় করিয়া তাহাদের গড় মান নির্ণয় করিতে হইবে।

ফল (Results) :

ব্যাটারীর (E) তড়িচ্চালক বল (পরীক্ষার পূর্বে) = ... ভোল্ট

" " " (পরীক্ষার পর) = ... ভোল্ট

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	যুক্ত কোষ	গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থা: যে তারে পাওয়া যায়	স্কেলের যে বিন্দুতে পাওয়া যায় (সেমি)	স্কেলের গড় পাঠ (সেমি)	তারের মোট দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	তড়িচ্চালক বলের অনুপাত $(E_1/E_2) = l_1/l_2$	E_1/E_2-এর গড় মান
1	প্রথম	...	... ...	...	...	...	...
	দ্বিতীয়	...	... ...	...	...		
2	প্রথম	...	... ...	...	...	...	
	দ্বিতীয়	..	... ...	...	...		
3	প্রথম	...	... ...	...	...	...	
	দ্বিতীয়	...	... ...	...	...		

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9.15 a) হইতে,

$$E_1/E_2 = l_1/l_2 = \quad \ldots$$

অথবা, যখন E_2-এর মান জানা, সমীকরণ (9.15 b) হইতে,

$$E_1 = E_2 \cdot \ l_1/l_2 = \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{ভোল্ট}$$

সতর্কতা (Precautions) :

পূর্বোক্ত পরীক্ষা (9.14)-এর অনুরূপ। পরীক্ষাপদ্ধতিতেও কিছু সতর্কতা অবলম্বনের কথা বলা হইয়াছে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ যদি দেখা যায় যে, পোটেন্সিয়োমিটার তারে একটি কোষের জন্য গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যাইতেছে কিন্তু অপরটির জন্য পাওয়া যাইতেছে না, তাহা হইলে কি বুঝিবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে বুঝিতে হইবে যে, দ্বিতীয় কোষের ক্ষেত্রে উহার তড়িচ্চালক বল বেশী এবং উহা পোটেন্সিয়োমিটারের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের (A, B) মধ্যে বিভবপার্থক্যেরও বেশী। তখন রিয়োষ্ট্যাটে রোধের মান কমাইয়া, A ও B-এর মধ্যে বিভবপাতের মান বাড়াইয়া লইয়া, উভয় ক্ষেত্রের জন্য পাঠ লইলে, বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যাইবে।

9·16 বর্তনীতে স্থাপিত একটি জানা মানের রোধের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্যের মান মাপিয়া একটি পোটেন্সিয়োমিটারের সাহায্যে ঐ বর্তনীতে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার মান নির্ণয় (To find the value of the current flowing in a circuit by measuring the drop of potential across a known resistance in the circuit and a potentiometer)

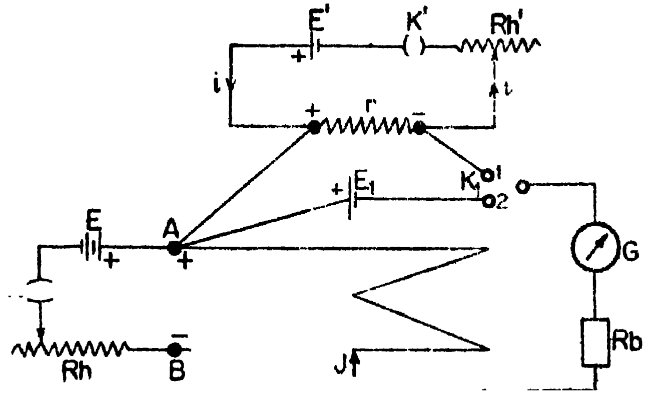
মূলনীতি (Theory) :

চিত্র 9.19-এ প্রদর্শিত বর্তনীতে যদি r রোধের মধ্য দিয়া i পরিমাণ প্রবাহ প্রবাহিত হয়, তাহা হইলে ঐ রোধের (r) প্রান্তে বিভববৈষম্য হইবে ir ($=e$) এবং এই বিভব-পাত যদি একটি পোটেন্সিয়োমিটারের তারে মোট l সেমি দৈর্ঘ্যের উপর প্রতিমিত হয় এবং যদি ঐ পোটেন্সিয়োমিটারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভবপাত ρ হয়, তাহা হইলে,

$$e = i \cdot r = \rho \cdot l \quad \ldots \quad (9.16a)$$

তারের ρ-এর মান একটি মানক বা নির্দিষ্ট কোষের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। যদি ঐরূপ তড়িচ্চালক বল E_1 হয় এবং উহাকে পোটেন্সিয়োমিটারের তারে প্রতিমিত

করিতে (পূর্বের অবস্থাতেই প্রবাহ পরিবর্তন পোটেন্সিয়োমিটারে না করিয়া) যদি মোট l' সেমি দৈর্ঘ্যের প্রয়োজন হয় তাহা হইলে,



চিত্র 9.19 : পোটেন্সিয়োমিটারের সাহায্যে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয়

$$E_1 = \rho . l' \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (9.16b)$$

বা, $\rho = E_1/l'$

সুতরাং সমীকরণ (9.16 a) হইতে

$$e = i . r = \frac{E_1}{l'} \quad l \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (9.16c)$$

$$\text{বা,} \quad i = \frac{E_1}{r} \quad \frac{l}{l'} \qquad \cdots \qquad . \qquad (9.16d)$$

সুতরাং মানক কোষ বা জানা তড়িচ্চালক বল (E_1)-এর কোষ লইয়া, মানক রোধ (r)-এর মান জানিয়া এবং l ও l'-এর মান বাহির করিয়া, রোধবর্তনীতে প্রবাহিত প্রবাহের মান (i) নির্ণয় করা যায়।

[যদি এই পরীক্ষায় মানক কোষ দেওয়া না থাকে, তাহা হইলে একটি পোস্টঅফিস বাক্সের সাহায্যে পোটেন্সিয়োমিটারের রোধ R_p নির্ণয় করিয়া এবং ঐ বর্তনীতে একটি মিলিঅ্যাম্মিটার স্থাপন করিয়া প্রবাহের মান I মাপিয়া পোটেন্সিয়োমিটার তারের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে মোট বিভবপাত বাহির করিয়া, প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভবপাত (ρ)-এর মান বাহির করিয়া লইতে হইবে।]

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পোটেন্সিয়োমিটার ; কোষ (E) ; রিয়োস্ট্যাট দুইটি ; মানক কোষ বা জানা তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট কোষ (E_1) ; সঞ্চয়ক কোষ (E') প্লাগচাবি দুইটি ; মানক রোধ (r) ; দুই-মুখী চাবি (K_1) ; গ্যালভ্যানোমিটার ; উচ্চমানের রোধবাক্স (R_b).

পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.19-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ করা হইল। লক্ষ্য

রাখিতে হইবে যে, মানক রোধের উচ্চবিভবপ্রান্ত ; মানক কোষের ধনাত্মক প্রান্ত এবং পোটেন্শিয়োমিটারের ধনাত্মক প্রান্ত (A) যেন একসাথে যুক্ত হয়। দুই-মুখী চাবির প্রথম প্রান্তে (1) মানক রোধের অপর প্রান্তের সহিত এবং দ্বিতীয় প্রান্ত (2) মানক কোষের ঋণাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত করিয়া গ্যালভ্যানোমিটারকে যথাস্থানে লাগানো হইল।

(ii) দেখিতে হইবে যে, E-এর মান যেন, E' ও r রোধের প্রান্ত বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভববৈষম্য অপেক্ষা বেশী হয়, নচেৎ পোটেন্শিয়োমিটার তারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যাইবে না।

(iii) দুই-মুখী চাবির 2নং বিন্দুতে চাবি লাগাইয়া, কোষ E'-এর জন্য পোটেন্শিয়োমিটারের দশম তারে বিক্ষেপহীন অবস্থার জন্য জকির অবস্থান নির্ণয় করা হইল। তিনবার এই পাঠ লইয়া গড় পাঠ লওয়া হইল। ইহার জন্য পোটেন্শিয়োমিটার বর্তনীতে যথোপযুক্ত রোধ রিয়োস্ট্যাট-এর সাহায্যে প্রয়োগ করিতে হইবে। (পূর্ববর্তী পরীক্ষা 9·14 ও 9·15-এর পরীক্ষাপদ্ধতি দ্রষ্টব্য)।

(iv) পোটেন্শিয়োমিটার বর্তনীতে প্রবাহ পরিবর্তন না করিয়া। দুই-মুখী চাবির 1নং বিন্দুতে চাবি লাগাইয়া, r-এর নিম্ন-বিভববিন্দুকে সংযুক্ত করিয়া অনুরূপভাবে পোটেন্শিয়োমিটার তারে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থা নির্ণয় করা হইল। পূর্বের ন্যায় এক্ষেত্রেও তিনবার পাঠ লইয়া গড় পাঠ নির্ণয় করা হইল।

(v) অনুরূপভাবে, পোটেন্শিয়োমিটার বর্তনীতে রিয়োস্ট্যাট Rh-এর মান আরো দুইবার পরিবর্তন করিয়া, প্রতিবারের জন্য পোটেন্শিয়োমিটারে প্রবাহের মান পরিবর্তন করিয়া, (iii) ও (iv) পদ্ধতি পুনরাবৃত্তি করিয়া আরো দুইবার l_1 ও l এর পাঠ নির্ণয় করা হইল।

(vi) পোটেন্শিয়োমিটারে তিনবার বিভিন্ন প্রবাহমাত্রার জন্য, প্রতিবারের পাঠ হইতে সমীকরণ (9.16 d)-এর সাহায্যে, মানক রোধ বর্তনীতে প্রবাহিত প্রবাহের মান পাওয়া যাইবে এবং উহা হইতে প্রবাহের গড় মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

মানক কোষ বা প্রদত্ত কোষের তড়িচ্চালক বল (E_1)	=	...	ভোল্ট
মানক রোধ বা প্রদত্ত নিম্নমানের রোধ (r)	=	...	ওহম্

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	যাহার বিভব-বৈষম্য মাপা হইতেছে	গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থা			তারের মোট কার্যকরী দৈর্ঘ্য (সেমি)	মানক রোধের প্রান্তে বিভব বৈষম্য (e) (ভোল্ট) $=E_1 \cdot l/l'$	e-এর গড় মান (ভোল্ট)	প্রবাহ $i=\frac{e}{r}$ অ্যাম্পিয়ার
		যে তারে পাওয়া যায়	স্কেলের যে বিন্দুতে পাওয়া যায় (সেমি)	স্কেলের গড় পাঠ (সেমি)				
1	মানক কোষ (E_1)	…	… … …	…	… (l')	…	…	…
	মানক রোধ (r)	…	… … …	…	… (l)			
2	মানক কোষ (E_1)	…	… … …	…	… (l')	…		
	মানক রোধ (r)	…	… … …	…	… (l)			
3	মানক কোষ (E_1)	…	… … …	…	… (l')	…		
	মানক রোধ (r)	…	… … …	…	… (l)			

হিসাব (Calculation) :

সমীকরণ (9.16 c) হইতে মানক রোধের প্রান্তে বিভববৈষম্য

$$e = E_1 \cdot \frac{l}{l'} = \qquad \ldots \qquad \text{ভোল্ট}$$

এবং সমীকরণ (9.16 d) হইতে ঐ রোধের মধ্যে প্রবাহিত প্রবাহ

$$i = \frac{e}{r} = \frac{E_1}{r} \cdot \frac{l}{l'} = \qquad \ldots \qquad \text{অ্যাম্পিয়ার}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) E_1-এর মান বেশী না ir-এর মান বেশী, তাহা প্রথমে জানা থাকে না। সেজন্য প্রথমে Rh-এর মান এমন করিতে হইবে যে, যাহাতে দুইটির জন্যই গ্যালভ্যানো-মিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পোটেন্সিয়োমিটার তারে পাওয়া যায়। যখন দুইটিই পাওয়া যাইবে, তখন Rh-এর মান পরিবর্তন করিয়া যাহার জন্য তারের কার্যকরী দৈর্ঘ্য বেশী পাওয়া যায়, তাহাকে দশম তারে লইয়া আসিতে হইবে। তখন অন্যটির জন্য যে কোন কম সংখ্যার তারে প্রতিমিত অবস্থা পাওয়া যাইবে।

(ii) যখন E_1-এর জন্য পাঠ লওয়া হইবে, তখন K'-চাবি খুলিয়া রাখা বাঞ্ছনীয়। নচেৎ r-এর মধ্য দিয়া অহেতুক প্রবাহ চলিবে এবং উহা উত্তপ্ত হইতে পারে।

(iii) প্রয়োজন ব্যতিরেকে পোটেন্সিয়োমিটার বর্তনীতে প্রবাহ চালনা করা উচিত নয়—সেজন্য যখন প্রয়োজন থাকিবে না তখন চাবি K খুলিয়া রাখা উচিত।

(iv) অন্যান্য সতর্কতার জন্য পরীক্ষা (9·14, 9·15) দ্রষ্টব্য।

প্রশ্নোত্তর

প্র: এই পরীক্ষায় প্রকৃতপক্ষে কি মাপা হইতেছে, প্রবাহ না বিভবপার্থক্য।

উ: বস্তুত: এখানে একটি মানক রোধের প্রান্তে বিভবপ্রভেদ মাপা হইতেছে এবং ঐ রোধের মাপ জানা থাকায়, ওহমের সূত্রের সাহায্যে, বিভবপ্রভেদ ও রোধের মান হইতে, রোধের মধ্যে প্রবাহিত প্রবাহের মান পাওয়া যাইতেছে।

প্র: পোটেন্সিয়োমিটারের সাহায্যে সাধারণত: বিভবপ্রভেদ মাপা হয় কিন্তু এক্ষেত্রে প্রবাহ কিভাবে মাপা হইতেছে?

উ: উপরিউক্ত উত্তর দ্রষ্টব্য।

প্র: অ্যাম্‌মিটারের সাহায্যেও প্রবাহ মাপা যায়, তাহা হইলে এই পদ্ধতি প্রয়োগের সার্থকতা কি?

উ: যেহেতু এক্ষেত্রে মানক রোধের প্রান্তে বিভবপ্রভেদের পরিমাপের সাহায্যে প্রবাহ মাপা হইতেছে এবং যেহেতু পোটেন্সিয়োমিটারে অতি অল্প ও সামান্য বিভেদ পার্থক্য অতি সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়, সেজন্য এই পদ্ধতি অনেক বেশী সূক্ষ্ম ও নির্ভুল। অ্যাম্‌মিটারের সাহায্যে পরিমাপে অনেক বেশী ভুল আসিতে পারে।

প্রঃ যদি মানক রোধ বা কোষের জন্য কোনো একটি ক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যায় কিন্তু অপর ক্ষেত্রে পাওয়া যাইতেছে না, তখন কি বুঝিতে হইবে ?

উঃ তখন বুঝিতে হইবে যে, যাহার জন্য বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যাইতেছে না, তাহার ক্ষেত্রে বিভবৈষম্যের মান অনেক বেশী, যাহা পোটেন্সিয়োমিটারের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের (*A* ও *B*) মধ্যে পাতিত বিভবপার্থক্য অপেক্ষাও বেশী। সেক্ষেত্রে রিয়োস্টাট *Rh*-কে পরিবর্তন করিয়া যথোপযুক্ত মান প্রয়োগ করিলে উভয়ের জন্যই গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপহীন অবস্থা পাওয়া যাইবে।

[অন্যান্য প্রশ্নোত্তরের জন্য (পোটেন্সিয়োমিটার সংক্রান্ত) পূর্বের পরীক্ষাগুলি (9 14 ও 9·15) দ্রষ্টব্য।]

9·17 একটি তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের উষ্ণতা বনাম তাপ-তড়িচ্চালক বলের লেখচিত্র অংকন এবং উহা হইতে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তাপ-বৈদ্যুৎ ক্ষমতার মান নির্ণয় (To draw the thermo-e.m.f. versus temperature curve of a given thermocouple and hence to find the thermo-electric power at a given temperature)

মূলনীতি (Theory) :

যখন একটি তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের একটি সন্ধিস্থলের উষ্ণতা $t°$ সেণ্টিগ্রেডে রাখা হয় এবং অপর সন্ধিস্থলের উষ্ণতা 0° সে রাখা হয় তখন উহার মধ্যে একটি তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়, যাহার মান

$$e = at + bt^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.17a)$$

যেখানে a ও b দুইটি ধ্রুবক যাহা তাপ বৈদ্যুৎ যুগ্মের উপাদানের উপর নির্ভর করে এবং $t°$ উভয় সন্ধিস্থলের উষ্ণতা পার্থক্য। যেহেতু, b-এর মান অপেক্ষাকৃত খুব কম, সেজন্য সমীকরণ (9.17)-কে লেখা যায়,

$$e = at \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.17b)$$

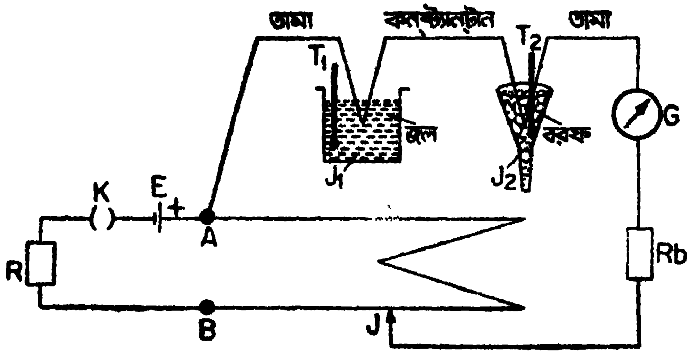
এই উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলকে একটি যথোপযুক্ত পোটেন্সিয়োমিটার বর্তনীতে মাপা যায়।

চিত্র 9.20-এ প্রদর্শিত বর্তনীতে যদি পোটেন্সিয়োমিটারের রোধ R_p হয় এবং উহার সহিত শ্রেণীসজ্জায় রোধবাক্সে রোধ R প্রয়োগ করা হয়। এবং যদি পোটেন্সিয়োমিটারের তারের মোট দৈর্ঘ্য L সেমি হয়, তাহা হইলে ঐ পোটেন্সিয়োমিটারে প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর বিভববৈষম্যের মান হইবে

$$\rho = \frac{E}{R+R_p} \cdot \frac{R_p}{L} \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.17c)$$

এখন যদি পোটেন্সিয়োমিটারে ঐ অবস্থায়, উৎপন্ন তাপ তড়িচ্চালক বল, পোটেন্সিয়ো-

মিটার তারের l সেমি, দৈর্ঘ্যের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভববৈষম্যের সমান হয়, তাহা হইলে,



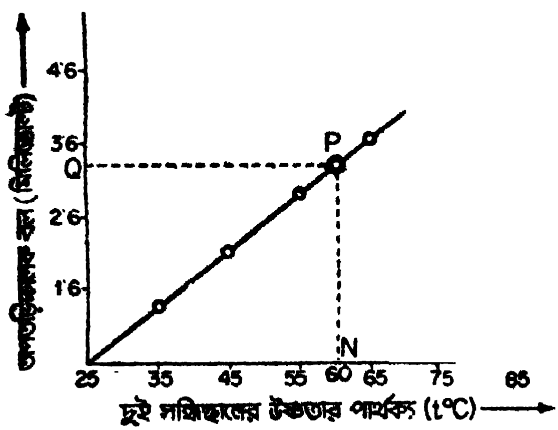
চিত্র 9.20 : তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের তাপ-তড়িচ্চালক বলের সমীক্ষা

$$e = \rho . l \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.17d)$$

$$= \frac{E\, R\rho\, l}{L\,(R + R\rho)} \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.17e)$$

সুতরাং, E, $R\rho$, L, R,-এর মান জানা থাকিলে এবং l এর মান নির্ণয় করিতে পারিলে, তাপ তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ (e) জানা যাইবে।

সমীকরণ (9.17b) হইতে দেখা যায় যে, তাপযুগ্মের দুই সন্ধিস্থলের উষ্ণতা পার্থক্যের ($t°$) উপর উৎপন্ন তাপ তড়িচ্চালক বলের মান নির্ভর করে। এখন, যদি সন্ধিস্থলের একদিক বরফে ডুবাইয়া রাখা হয় (0° সে) এবং অপরদিক একটি জলপূর্ণ পাত্রে রাখা হয় যাহার উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি করা যায়, তাহা হইলে ঐ সন্ধিস্থলের বিভিন্ন উষ্ণতার জন্য, তাপ তড়িচ্চালক বলও বিভিন্ন হইবে। বিভিন্ন



চিত্র 9.21 : উষ্ণতাপার্থক্য—তাপতড়িচ্চালক বল লেখচিত্র

উষ্ণতায় ঐ সন্ধিস্থলকে রাখিয়া প্রতি ক্ষেত্রে, তাপ তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ পরিমাপ করিয়া, যদি উষ্ণতা বনাম তাপ তড়িচ্চালক বলের একটি লেখাচিত্র অঙ্কন করা যায়, তাহা হইলে $t°$-এর মান অল্প পরিসরের মধ্যে থাকিলে, ঐ লেখাচিত্র একটি সরলরেখা হইবে (চিত্র 9.21), এই লেখাচিত্র হইতে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় প্রদত্ত তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের তাপবৈদ্যুৎ ক্ষমতা নির্ণয় করা যায়।' যাহার সংজ্ঞা

হইল, প্রদত্ত তাপবৈদ্যুৎ যুগ্মের ঐ উষ্ণতায় প্রতি একক উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য যে পরিমাণ তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

পোটেন্সিয়োমিটার ; তাপযুগ্ম (তামা ও কনস্ট্যানটানের তৈয়ারী) ; কোষ ; চাবি ; রোধবাক্স দুইটি ; গ্যালভ্যানোমিটার ; বিকার ; ফানেল ; বরফ ; জল উষ্ণ করার ব্যবস্থা।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 9.20-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ করা হইল. লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, তামার উষ্ণ সন্ধিস্থল J_1 (যাহা ধনাত্মক এক্ষেত্রে) যেন কোষের ধনাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত থাকে।

(ii) দুইটি থার্মোমিটারের সাহায্যে (T_1 ও T_2) যথাক্রমে সন্ধিস্থল J_1 ও J_2-এর উষ্ণতা পরিমাপ করিতে হইবে যাহারা যথাক্রমে বিকারের জলে ও ফানেলের মধ্যে বরফের ভিতর ডুবানো থাকে।

(iii) কোষের তড়িচ্চালক বল (E) এবং পোটেন্সিয়োমিটারের রোধ (Rp) যথাক্রমে একটি ভোল্টমিটার ও একটি পোস্ট অফিস বাক্সের সাহায্যে পরিমাপ করিয়া লওয়া হইল।

(iv) রোধবাক্স R হইতে এমন উপযুক্ত রোধ (R) প্রয়োগ করিতে হইবে যাহাতে, পোটেন্সিয়োমিটার তারে প্রতি এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যের উপর 5 মাইক্রোভোল্ট বিভব-পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। (Rp, E এবং L-এর মান হইতে, ইহা করিতে R-এর মান কত লাগিবে, তাহা সহজেই হিসাব করিয়া লওয়া যায় সমীকরণ 9.17c হইতে)।

(v) উষ্ণ সন্ধিস্থলকে ঘরের উষ্ণতায় রাখিয়া পোটেন্সিয়োমিটারের তারে উৎপন্ন তাপতড়িচ্চালক বলকে প্রতিমিত করিতে কত দৈর্ঘ্য লাগিবে তাহা গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থান নির্ণয় করিয়া স্থির করা হইল। মনে করা যাউক, এই দৈর্ঘ্য হয় l সেমি। সুতরাং সমীকরণ (9.17 e) হইতে l-এর মান বসাইয়া, উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ (e) পাওয়া যাইবে।

(vi) এইরূপে জলকে ক্রমান্বয়ে উষ্ণ করিয়া অন্ততঃ পাঁচটি বিভিন্ন উষ্ণতার (T_1 দ্বারা মাপিয়া) ঐরূপ পাঠ লওয়া হইল। এবং পাঁচটি বিভিন্ন উষ্ণতা পার্থক্যের জন্য উৎপন্ন তাপতড়িচ্চালক বলের মান পাওয়া গেল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, যেন শীতল সন্ধিস্থলে (J_2) উষ্ণতা বরফের উষ্ণতা ($D°$ সে) থাকে এবং তাহা T_2 থার্মোমিটার দ্বারা প্রতিবার মাপিতে হইবে।

লেখচিত্র অঙ্কন ও তাপবৈদ্যুৎ ক্ষমতার মান নির্ণয়

একটি লেখচিত্র কাগজে X-অক্ষ বরাবর তাপতড়িচ্চালক বল (মিলিভোল্ট) এবং

Y-অক্ষ বরাবর উষ্ণতা পার্থক্য ($t°$ সে) প্রকাশ করিয়া লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে (যদি উষ্ণতা পার্থক্যের পরিসর কম হয়, চিত্র 9.21)।

ঐ লেখচিত্রের সাহায্যে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় যদি তাপযুগ্মের তাপবৈদ্যুৎক্ষমতা নির্ণয় করিতে হয়, তাহা হইলে, ঐ লেখচিত্রে নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, লেখচিত্রের সহিত স্পর্শক টানিলে ঐ স্পর্শক যে নতি (gradient) উৎপন্ন করে, তাহাই উষ্ণতায় তাপবৈদ্যুৎ ক্ষমতা (themo-electric power)। যদি ঐ নতির মান $\frac{de}{dt}$ হয়, তাহা হইলে তাপবৈদ্যুৎ ক্ষমতা $(P)=\frac{de}{dt}$।

এখন যেহেতু, অল্প উষ্ণতা পার্থক্য পরিসরে, $e-t$ লেখচিত্রটি প্রায় সরলরেখা হয়। সুতরাং নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, তাপবৈদ্যুৎ ক্ষমতার মান নির্ণয় করিতে হইলে, ঐ উষ্ণতায় (N) একটি কোটি (ordinate) টানিলে উহা লেখচিত্রকে P বিন্দুতে ছেদ করে। PQ ভুজ টানিলে, তাপবিদ্যুৎ ক্ষমতার মান হইবে

$$P=\frac{de}{dt}=\frac{PN}{PQ}$$ [চিত্র 9.21 দ্রষ্টব্য].

ফল (Results) :

ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল (E) পরীক্ষার পূর্বে= ... ... ভোল্ট

,, ,, ,, পরীক্ষার পর= ... .. ভোল্ট

পোটেনশিয়োমিটার তারে প্রতি একক দৈর্ঘ্যে 5 মাইক্রোভোল্ট বিভবপাত করিতে, পোটেনশিয়োমিটারের সহিত শ্রেণীসজ্জায় যে পরিমাণ রোধ ব্যবহার করিতে হইবে

(R)= ... ওহম্

পোটেনশিয়োমিটার তারের রোধনির্ণয় (Rp)

সারণী—1

[পরীক্ষা 9.5-এ প্রদর্শিত পোস্ট-অফিস বাক্সের সাহায্যে রোধনির্ণয়ের জন্য সারণীর অনুরূপ করিতে হইবে।]

উষ্ণতাপার্থক্য—তাপতড়িচ্চালক বলের পাঠ

সারণী—2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	J_1 সন্ধিস্থানের উষ্ণতা (শীতল) (° সে)	J_2 সন্ধিস্থানের উষ্ণতা (উষ্ণ) (° সে)	গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপহীন অবস্থা			তারের মোট দৈর্ঘ্য (l) (সেমি)	তারের একক দৈর্ঘ্যে বিভিন্ন পাতের পরিমাণ (ρ মাইক্রো-ভোল্ট প্রতি সেমি)	উৎপন্ন তাপতড়িচ্চালক বল (e)
			যে তারে পাওয়া যায়	স্কেলের যে বিন্দুতে পাওয়া যায় (সেমি)	স্কেলের গড় পাঠ (সেমি)			
1	0°	t_1°	…	… … ..	…	…		… (e_1)
2	0°	t_2°	…	… … …	…	…		… (e_2)
3	0°	t_3°	…	… … …	..	…		… (e_3)
4	0°	t_4°	…	.. … …	…	…		… (e_4)
5	0°	t_5°	…	. … …	…	…		… (e_5)
6	0°	t_6°	…	… … …	…	…		… (e_6)

সারণী—3

সন্ধিস্থানের উষ্ণতা পার্থক্য (°সে)	...	...	...	...	...	...
তাপ তড়িচ্চালক বল (মিলিভোল্ট)	...	...	...	...	...	...

হিসাব (Calculations) :

সমীকরণ (9.17c) হইতে E, R_p, R ও L-এর মান বসাইয়া এবং সারণী 2 হইতে l-এর মান বসাইয়া, তাপতড়িচ্চালক বলের মান পাওয়া যায়

$$e = \frac{ER_p . l}{L(R_p + R)} \quad \cdots \text{ মিলিভোল্ট}$$

প্রতিটি উষ্ণতাপার্থক্যের জন্য ($t_1°, t_2° \cdots$) সংশ্লিষ্ট তাপতড়িচ্চালক বলের মান ($e_1, e_2, \cdots$) নির্ণয় করিতে হইবে।

লেখচিত্র হইতে, প্রদত্ত উষ্ণতায় (T° সে) তাপবিদ্যুৎ ক্ষমতা (P) নির্ণয় করিতে PQ ও PN, ভুজ ও কোটি টানিলে,

$$\text{তাপবিদ্যুৎ ক্ষমতা } P = \frac{de}{dt} = \frac{PN}{PQ} = \quad \cdots \quad \cdots \text{ মিলিভোল্ট/প্রতি °সে}$$

সতর্কতা (Precautions) :

(i) শীতল সন্ধিস্থানে (J_2) যেন উষ্ণতা 0° সেণ্টিগ্রেডে সর্বদা থাকে সে সম্বন্ধে বিশেষভাবে সতর্ক থাকা প্রয়োজন। এজন্য কিছু সময় অন্তর, ঐ স্থানে রাখা বরফকে নাড়াইয়া প্রয়োজনে অতিরিক্ত বরফের গুঁড়া দেওয়া প্রয়োজন।

(ii) উষ্ণ সন্ধিস্থানে (J_1) জলকে খুব ধীরে ধীরে উষ্ণ করিতে হইবে এবং জলকে সর্বদা একটি আলোড়কের সাহায্যে নাড়াইতে হইবে।

(iii) উষ্ণতাপার্থক্যের পরিসর যেন খুব বেশী না হয়, তাহা হইলে মূলনীতির সমীকরণ (9.17b) প্রযোজ্য হইবে না।

(iv) বিক্ষেপহীন অবস্থানের পাঠ খুব শীঘ্র পাইতে হইবে।

(v) কোষের তড়িচ্চালক বল (E) যেন পরীক্ষাকালে স্থির থাকে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ তাপতড়িচ্চালক বলের উদ্ভব সম্বন্ধে কি জান এবং সীবেক ক্রিয়া, পেল্টিয়ার ক্রিয়া ও টমসন্ ক্রিয়া কাহাকে বলে।

উঃ [তড়িৎবিদ্যুৎ পুস্তকের 'তাপবিদ্যুৎ' পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ উষ্ণতা কাহাকে বলে ?

উঃ তাপযুগ্মের উষ্ণতাপার্থক্যের যে মানে, সর্বাপেক্ষা বেশী তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়, তাহাকে নিরপেক্ষ উষ্ণতা (neutral temperature) বলে।

প্রঃ তাপযুগ্মের উৎক্রমণ উষ্ণতা (inversion temperature) কাহাকে বলে ?

উঃ তাপযুগ্মের উষ্ণ সন্ধিস্থানকে ক্রমশঃ উষ্ণ করিতে থাকিলে প্রথমে তাপতড়িচ্চালক বল বাড়িতে থাকে, তাহার পর নিরপেক্ষ উষ্ণতায় উহার মান চরম হয়। তাহার পর উষ্ণতা বাড়াইতে থাকিলে, তাপতড়িচ্চালক বলের মান কমিতে থাকে এবং অবশেষে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, উহার মান শূন্য হয়। এই উষ্ণতাকে 'উৎক্রমণ উষ্ণতা' বলে। এই উভয় উষ্ণতাই (নিরপেক্ষ ও উৎক্রমণ) যে উপাদান দ্বারা তাপযুগ্ম তৈয়ারী হয়, তাহাদের উপর নির্ভর করে।]

প্রঃ এই তাপযুগ্মের সাহায্যে কি কোন অজানা উষ্ণতা পরিমাপ করা যায় ?

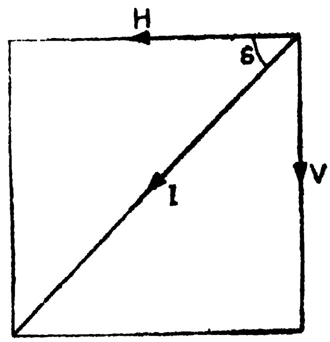
উঃ হ্যাঁ, ঐ অজানা উষ্ণতায়, উৎপন্ন তাপতড়িচ্চালক বল মাপিয়া, আলোচ্য লেখচিত্র হইতে, সংশ্লিষ্ট উষ্ণতা নির্ণয় করা যাবে।

9·18 ভূচুম্বকী আবেশকের সাহায্যে কোন স্থানে ভূচৌম্বকক্ষেত্রের বিনতির পরিমাণ নির্ণয় (Determination of the angle of dip at a place by using an Earth Inductor)

মূলনীতি (Theory) :

যে কোন স্থানে ভূচুম্বকের লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য (I) সেইস্থানে অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করিয়া থাকে, সেই কোণকে ঐ স্থানের বিনতি (dip δ) বলে। চিত্র 9.22-এ প্রদর্শিত চৌম্বকক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য (I) অনুভূমিক তলের সহিত δ কোণ করিয়া থাকে। সেজন্য I-এর উল্লম্ব উপাংশ হইবে $V=I \sin \delta$ এবং অনুভূমিক উপাংশ হইবে $H=I \cos \delta$

সুতরাং $\tan \delta=\frac{V}{H}$ ... (9.18a)



চিত্র 9.22 : বিনতি কোণ

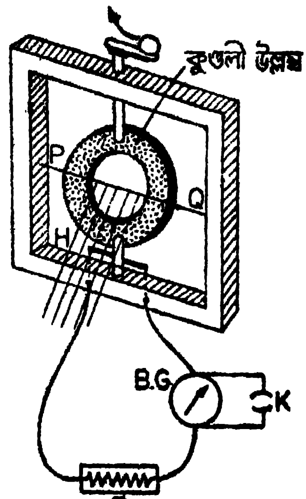
অর্থাৎ কোন স্থানে লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের, অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় করিতে পারিলে, সেই স্থানের বিনতি কোণ (δ,-এর মান পাওয়া যাইবে।

I-এর উল্লম্ব ও অনুভূমিক উপাংশ নির্ণয় করিতে একটি ভূচুম্বকী আবেশকের (earth inductor) সাহায্য লওয়া হয়। উহাকে একটি ব্যালিস্টিক গ্যালভ্যানোমিটার এবং একটি রোধের সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 9.23 ও 9.24)।

H-এর মান নির্ণয় পদ্ধতি

ভূচুম্বকী আবেশককে প্রথমে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে ইহার কুণ্ডলীর ঘূর্ণনাক্ষ উল্লম্ব থাকে এবং কুণ্ডলীতলকে উল্লম্ব ও চৌম্বকতলের সমকোণে থাকে (চিত্র 9.23)। এই অবস্থায় কুণ্ডলীটিকে খুব দ্রুত ঘুরাইলে (180°), ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য (H), কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট করিবে। এই আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের ফলে,

বহির্বর্তনীতে যুক্ত ব্যালিস্টিক গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে যে পরিমাণ আধান প্রবাহিত হইবে, তাহার মান হইবে।



চিত্র 9.23 : H-এর মান নির্ণয়

$$q=\frac{2nAH}{R} \quad \ldots \quad (9.18b)$$

যখন n=কুণ্ডলীর তারের মোট পাকসংখ্যা

A=আবেশক কুণ্ডলীর ক্ষেত্র

R=বর্তনীতে মোট রোধ

ইহার ফলে গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে যে প্রাথমিক বিক্ষেপ ঘটিবে, তাহা যদি একটি আলো ও স্কেলের সাহায্যে পূর্বের ন্যায় (পরীক্ষা 9·6, 9·7 ইত্যাদি) মাপা যায় এবং যদি স্কেলে প্রতিফলিত আলোক-বিন্দুর সরণ d_1 সেমি হয়, তাহা হইলে

$$q=k.d_1\left(1+\frac{\lambda}{2}\right) \quad \ldots \quad (9.18c)$$

যখন, K=ব্যালিস্টিক গ্যালভ্যানোমিটারের ধ্রুবক

d_1=স্কেলে আলোকবিন্দুর প্রথম বিক্ষেপ

λ=লগারিদমীয় হ্রাসাঙ্ক (log decrement)

সুতরাং সমীকরণ (9.18b) ও (9.18c)-কে একত্রে লেখা যায়

$$q=\frac{2nAH}{R}=K.d_1\left(1+\frac{\lambda}{2}\right) \quad \ldots \quad (9.18d)$$

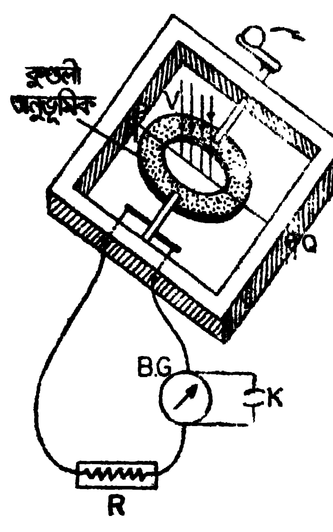
V-এর মান নির্ণয় পদ্ধতি

ভূচুম্বকী আবেশককে উহার ফ্রেমসমেত ঘুরাইয়া এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে উহার কুণ্ডলীর ঘূর্ণনাক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে থাকে এবং কুণ্ডলীতল অনুভূমিক থাকে (চিত্র 9.24)। এই অবস্থায় কুণ্ডলীটিকে খুব দ্রুত 180° ঘুরাইলে, ভূচুম্বকের চৌম্বক-ক্ষেত্রের কেবলমাত্র উল্লম্ব উপাংশ (V), কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট করিবে এবং উহার ফলে পূর্বের ন্যায় বহির্বর্তনীর গ্যালভ্যানোমিটারে আধান প্রবাহিত হইবে।

যদি এক্ষেত্রে গ্যালভ্যানোমিটারের প্রাথমিক বিক্ষেপের ফলে, ঐ স্কেলে আলোকবিন্দুর সরণ d_2 সেমি হয়, তাহা হইলে পূর্বের ন্যায়

$$q'=\frac{2nAV}{R}=K.d_2\left(1+\frac{\lambda}{2}\right)$$

(9.18e)



চিত্র 9.24 : V-এর মান নির্ণয়

সুতরাং, সমীকরণ (9.18e)-কে (9.18d) দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{V}{H} = \frac{d_2}{d_1} = \tan\delta \quad (\text{ সমীকরণ 9.18a হইতে })$$

∴ বিনতি কোণ δ-এর মান পাওয়া যাইবে সমীকরণ

$$\tan\delta = \frac{d_2}{d_1} \text{ হইতে} \quad \cdots \quad (9.18f)$$

অতএব, উল্লিখিত দুই অবস্থায়, গ্যালভ্যানোমিটারের প্রাথমিক বিক্ষেপের ফলে, স্কেলে আলোকবিন্দুর সরণের মান হইতে, পরীক্ষাস্থানে বিনতি কোণের মান (δ) পাওয়া যাইবে।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

ভূচুম্বকী আবেশক (earth inductor) ; প্রক্ষেপী (ballistic) গ্যালভ্যানোমিটার, স্কেল ও আলোক উৎস ; রোধবাক্স ; একমুখী চাবি ; কম্পাস কাঁটা।

ভূচুম্বকী আবেশকের বর্ণনা চুম্বকবিজ্ঞান পুস্তকের ভূ-চুম্বক অধ্যায়ে বিস্তারিতভাবে দেওয়া আছে, চিত্র 9.23 ও 9.24 হইতেও উহার গঠনপ্রকৃতি সম্বন্ধে অনেকটা ধারণা পাওয়া যাইবে।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) প্রথমে একটি চুম্বককম্পাস কাঁটার সাহায্যে পরীক্ষাস্থানে চৌম্বক মধ্যতল স্থির করিয়া একটি দাগ টেবিলের উপর দেওয়া হইল এবং উহার সমকোণেও একটি দাগ টানা হইল। ইহারা যথাক্রমে চৌম্বক মধ্যতল ও তাহার সমকোণ দিক নির্দেশ করে।

(ii) কুণ্ডলীসম্বলিত ভূচুম্বকী আবেশককে টেবিলের উপর ঐ দাগ বরাবর এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে, কুণ্ডলীর ঘূর্ণনাক্ষ উল্লম্ব থাকে এবং কুণ্ডলীতল উল্লম্ব ও চৌম্বক মধ্যতলের সমকোণে থাকে।

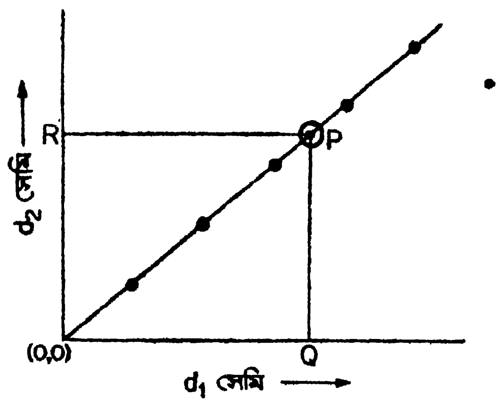
(iii) রোধবাক্স হইতে R-এর মান এমন লওয়া হইল যাহাতে উহা প্রক্ষেপী গ্যালভ্যানোমিটারের ক্রান্তিক অবমন্দন রোধ (critical damping resistance) অপেক্ষা সামান্য বেশী হয়। এই অবস্থায়, গ্যালভ্যানোমিটার সংলগ্ন চাবি (K) খুলিয়া রাখিয়া, কুণ্ডলীটিকে খুব দ্রুত 180° ঘুরানো হইল এবং উহার ফলে স্কেলের উপর আলোক-রেখার প্রথম সরণ d_1 সেমি-এর পাঠ লওয়া হইল। অনুরূপভাবে কুণ্ডলীটিকে আরো চারিবার, 180° করিয়া ঘুরাইয়া প্রতিবারের ক্ষেত্রে স্কেলের উপর আলোকরেখার প্রাথমিক সরণ-এর পাঠ লওয়া হইল। এই পাঠগুলি হইতে গড় পাঠ লইয়া, d_1-এর মান নির্ণয় করা হইল। প্রতিবার পাঠ লওয়ার পর চাবি K-কে লাগাইয়া দিয়া (ক্ষণিকের জন্য) গ্যালভ্যানোমিটারকে স্থির ও বিক্ষেপহীন অবস্থায় আনা হইল। এইভাবে R-এর 5টি মান লইয়া পাঠ লওয়া হইল।

(iv) এর পরে, কুণ্ডলীটিকে ঘুরাইয়া এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে কুণ্ডলীতল অনুভূমিক থাকে এবং উহার ঘূর্ণনাক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে থাকে। পূর্বের ন্যায় কুণ্ডলীটিকে ঘুরাইয়া, স্কেলের পাঠ লওয়া হইল এবং R-এর একটি মান লইয়া, অন্ততঃ চারিবার কুণ্ডলীটিকে ঘুরাইয়া d_2-এর মান লইয়া তাহাদের গড় মান বাহির করা হইল। পূর্বে R-এর যে 5টি মান লইয়া পাঠ লওয়া হইয়াছিল, সেই 5টি মান লইয়া, এক্ষেত্রেও অনুরূপ পাঁচবার d_2-এর পাঠ লওয়া হইল।

(v) সুতরাং, রোধবাক্সের প্রতিটি রোধ (R_1, R_2 · R_5)-এর জন্য d_1/d_2-এর মান পাওয়া যাইবে এবং দেখা যাইবে যে d_1/d_2-এর অনুপাত প্রতিক্ষেত্রেই একই হইবে। এই অনুপাতগুলির গড় মান লইয়া সমীকরণ (9.18f)-এ বসাইলে $\tan \delta$-এর মান পাওয়া যাইবে, যাহা হইতে বিনতি কোণ (δ)-এর মান পাইবে।

লেখচিত্র অঙ্কন

R-এর বিভিন্ন মানের জন্য যে বিভিন্ন d_1 ও d_2-এর মান পাওয়া যাইবে, তাহাদের যদি একটি লেখচিত্র কাগজে প্রকাশ করা হয় (X-অক্ষ বরাবর d_1 ও Y-অক্ষ বরাবর d_2) তাহা হইলে লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে (চিত্র 9.25) যাহা



চিত্র 9.25 : (d_1—d_2) লেখচিত্র

মূলবিন্দুর (O,O) মধ্য দিয়া যাইবে। এই লেখচিত্রের উপর যে কোন একটি বিন্দু P লইয়া তাহার ভুজ ও কোটির মান হইতে d_1 ও d_2-এর মান লইয়া সমীকরণ (9.18f)-এ বসাইলেও $\tan \delta$ এবং অতঃপর δ-এর মান পাওয়া যাইবে।

ফল (Results) :

গ্যালভ্যানোমিটার বিক্ষেপের জন্য স্কেলের পাঠ (d_1 ও d_2)

সারণী—1

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	কুণ্ডলীর ঘূর্ণনাক্ষ	কুণ্ডলীতলের অবস্থান	বাক্সে ব্যবহৃত রোধের পরিমাণ (ওহম্)	স্কেলে আলোকবিন্দুর প্রথম বিক্ষেপ (সেমি)	প্রথম বিক্ষেপের গড় মান (d_1) অথবা (d_2) (সেমি)	$\frac{d_2}{d_1}$-এর অনুপাত	$\frac{d_2}{d_1}$-এর গড় মান
1	উলম্ব	উলম্ব	R_1	.. ..	......(d_1)		
2	,,	,,	R_2	......	......	......	
...	,,	,,	......	......	......		
5	,,	,,	R_5	......	......	......	......
1	অনুভূমিক ও চৌম্বক মধ্যতলে	অনুভূমিক	R_1	......	......	.....	
2	,,	,,	R_2	......	....	.. ...	
...	,,	,,	......	......	......		
5	,,	,,	R_5	......	......	......	

সারণী—2

সারণী 1 হইতে d_2/d_1-এর গড় মান	লেখচিত্র হইতে d_2/d_1-এর মান (PQ/QR)	সারণীর মান হইতে tan δ-এর মান $\tan\delta=\frac{d_2}{d_1}$	লেখচিত্রের মান হইতে tan δ-এর মান	tan δ-এর গড় মান	δ-এর মান $\delta=\tan^{-1}\frac{d_2}{d_1}$ (ডিগ্রী)
......	. ...	......	......	......	......

∴ পরীক্ষাস্থানে ভূচৌম্বকক্ষেত্রের বিনতি কোণের (δ) মান

= ... ডিগ্রী।

সতর্কতা (Precautions):

(i) গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপের পরিমাণ কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের গতিবেগের উপর নির্ভর করে। সেজন্য বিক্ষেপ বেশী পাইতে হইলে, ঘূর্ণন• (180°) খুব দ্রুত হওয়া প্রয়োজন।

(ii) কুণ্ডলী যখন উল্লম্ব অথবা অনুভূমিক অবস্থায় থাকে, তখন তাহাদের ঘূর্ণন সুরু এবং শেষ হওয়ার আগে ও পরে যেন যথাক্রমে উল্লম্ব ও অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হয়।

(iii) স্কেলে বিক্ষেপের পরিমাণ বেশী পাইতে হইলে, স্কেলের দূরত্ব গ্যালভ্যানো-মিটার হইতে যথেষ্ট বেশী (1 মিটারের অধিক) হওয়া প্রয়োজন এবং কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের গতিবেগ যথেষ্ট বেশী হওয়া বাঞ্ছনীয়।

(iv) *R*-রোধের মান যদিও গ্যালভ্যানোমিটারের ক্রান্তিক অবমন্দন রোধের অপেক্ষা বেশী হইবে। তথাপি উহার মান খুব বেশী হইলে, গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ কম হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তাড়িৎপ্রবাহ কি ধরনের হয়?

উঃ উহার প্রাবল্য স্থির নয়। ইহা একটি পরবর্তী প্রবাহ। ইহার মান যথাক্রমে শূন্য ও চরম হয়, যখন কুণ্ডলীতল চৌম্বক বলরেখার সমকোণে বা সমান্তরালে থাকে।

প্রঃ ব্যবহৃত যন্ত্রের নাম 'ভূচুম্বকী আবেশক' কেন হইল?

উঃ ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখার পরিবর্তনের জন্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয় বলিয়া।

প্র: কোন স্থানের বিনতি কোণ কাহাকে বলে ?

উ: মূলনীতি দ্রষ্টব্য।

প্র: যদি কুণ্ডলীটিকে উলম্ব বা অনুভূমিক না রাখিয়া যে কোন কোণে রাখিয়া 180° ঘুরানো হয়, তাহা হইলে কি হইবে ?

উ: সেক্ষেত্রে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উলম্ব উপাংশের H ও Z উভয়েরই চৌম্বক বলরেখা কুণ্ডলীটিকে অতিক্রম করিবে এবং সেক্ষেত্রে মূলনীতি কার্যাবলী হইবে না।

প্র: কুণ্ডলীকে ঠিক 180° ঘুরানো হয় কেন ?

উ: কুণ্ডলীকে 180° না ঘুরাইলে ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঠিক $2nAH$ হইবে না, কম হইবে।

প্র: কুণ্ডলীকে যদি 360° ঘুরানো হয় তাহা হইলে কি হইবে ?

উ: সেক্ষেত্রে ফ্লাক্সে মোট পরিবর্তন শূন্য হইবে এবং গ্যালভানোমিটারে কোন আধান প্রবাহিত হইবে না এবং উহার বিক্ষেপ হইবে না।

প্র: বিনতি কোণের মান কোথায় শূন্য এবং কোথায় 90° ?

উ: চৌম্বক নিরক্ষরেখায় (equator) উহার মান শূন্য এবং চৌম্বকমেরুতে উহার মান 90°।

প্র: V ও H-এর জন্য কোথায় গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ সমান হয় ; অর্থাৎ $d_1 = d_2$ হয় ?

উ: সেই স্থানে যেখানে বিনতি কোণের মান 45°।

প্র: এই যন্ত্রের সাহায্যে কি ভূচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের মোট মান পাওয়া যায়।

উ: হ্যাঁ যায়, H ও V-এর মান হইতে মোট লব্ধি মান পাওয়া যায় এই সূত্র দ্বারা $I = \sqrt{H^2 + V^2}$।

প্র: গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের মান কিরূপে বৃদ্ধি করা যায় ?

উ: কুণ্ডলীর তারের পাকসংখ্যা (n) ও উহার ক্ষেত্রফল (A) বৃদ্ধি করিলে এবং বর্তনীর রোধ (R) কমাইলে, তড়িৎ প্রবাহের মান বৃদ্ধি পাইবে।

প্র: এই পরীক্ষার নীতি কোন্ যন্ত্রে ব্যবহৃত হয় ?

উ: ডায়নামোতে এই নীতি প্রয়োগ করিয়া তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করা হয়।

দশম অধ্যায়

ইলেকট্রনিক্সের পরীক্ষাবলী

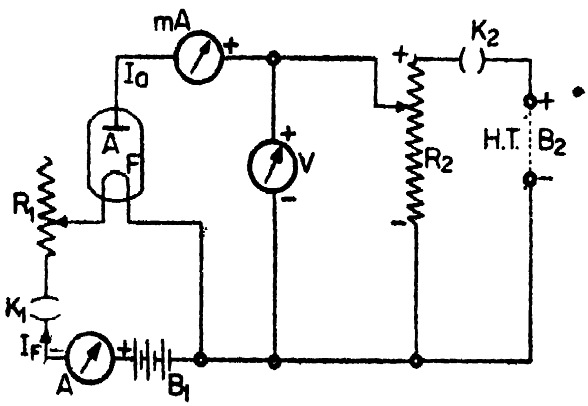
(Experiment on Electronics)

10·1 ডায়োড-ভালভের স্থিতীয় অভিলক্ষণিক অঙ্কন

(To draw the static characteristic curves of a diode valve)

মূলনীতি (Theory) :

একটি কাচ বা ধাতুনির্মিত বায়ুশূন্য বালবের মধ্যে দুইটি ইলেকট্রোড সম্বলিত ব্যবস্থাকে 'ডায়োড-ভালভ্' বলে। উহাদের একটি ক্যাথোড এবং অপরটি অ্যানোড, টাংস্টেন আস্তরণযুক্ত একটি ফিলামেণ্ট এক্ষেত্রে ক্যাথোড এবং উহাকে বেষ্টন করিয়া যে চোঙাকৃতি টাংস্টেনের আবরণ থাকে, সেটি অ্যানোড। ফিলামেণ্টের (ক্যাথোড) মধ্য দিয়া প্রবাহ পাঠাইয়া উহাকে উত্তপ্ত করিলে, উহা হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় এবং সেই ইলেকট্রনগুলি ধনাত্মক অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয়। যদি বহির্বর্তনী যুক্ত করা হয়



চিত্র 10.1 : ডায়োডের স্থিতীয় অভিলক্ষণিক লেখ অঙ্কন ব্যবস্থা

(চিত্র 10.1) প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী, তাহা হইলে ভালভের মধ্যে অ্যানোড হইতে ক্যাথোডের দিকে একটি তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হইতে থাকিবে। অ্যানোডের বিভব (voltage) যত বেশী ধনাত্মক হইবে, তড়িৎপ্রবাহের মানও তত বেশী হইতে থাকিবে এবং শেষে একটি সংপৃক্ত তড়িৎপ্রবাহ মানে (saturation current) পৌঁছাইবে। একটি নির্দিষ্ট অ্যানোড-বিভবের জন্য, অ্যানোডে তড়িৎপ্রবাহ, ফিলামেণ্ট প্রবাহের উপর নির্ভর করে।

একটি লেখচিত্র কাগজে যদি একটি নির্দিষ্ট ফিলামেণ্ট তড়িৎপ্রবাহের জন্য (I_F), বিভিন্ন অ্যানোড-বিভবের মানের (V_a) জন্য সংশ্লিষ্ট অ্যানোড-প্রবাহ (I_a)

মিলিঅ্যামপিয়ারে, প্রকাশ করা যায়, তাহা হইলে ঐ লেখচিত্রকে ডায়োডের 'স্থিতীয় অভিলক্ষণিক লেখচিত্র' বলে। ফিলামেণ্ট প্রবাহের মান পরিবর্তন করিয়া, অ্যানোড-প্রবাহের বিভিন্ন মান ঐ একই লেখচিত্রে প্রকাশ করা যায় (চিত্র 10.2)। এই লেখচিত্র হইতে, ভালভের আভ্যন্তরীণ রোধও নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

একটি ডায়োড-ভালভ্ সকেটসহ ; 100-ভোল্ট পরিসরের ভোল্টমিটার ; 1-অ্যামপিয়ার পরিসরের এবং 10-মিলিঅ্যামপিয়ার পরিসরের দুইটি মিলিঅ্যামমিটার ; দুইটি প্লাগ চাবি ; দুইটি রিয়োষ্ট্যাট ; সঞ্চয়ক কোষ ; উচ্চভোল্টের ব্যাটারী (বা 'মেনস্' প্রবাহ)।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 10.1-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ করা হইল। ফিলামেণ্টের (F) সহিত রিয়োষ্ট্যাট (R_1), চাবি (K_1), অ্যামমিটার (A) এবং কম ভোল্টের (6 ভোল্ট) কোষ (B_1) লাগানো হইল। অ্যানোডের সহিত মিলিঅ্যামমিটার (mA), উচ্চ ভোল্ট বর্তনীর রিয়োষ্ট্যাটের (R_2) উচ্চবিভব প্রান্তের (+) সহিত যুক্ত করিতে হইবে। একটি ভোল্টমিটারকে (V) যথাযথভাবে তাহার মেরু দেখিয়া প্রদর্শিত ব্যবস্থায় যোগ করিয়া অ্যানোড-ভোল্টেজ মাপিতে হইবে। রিয়োষ্ট্যাট (R_2)-কে কমাইয়া বা বাড়াইয়া, প্রবাহের মান বাড়াইয়া-কমাইয়া, অ্যানোডের উপর যথাক্রমে বেশী বা কম বিভব প্রয়োগ করা যাইতে পারে।

(ii) ফিলামেণ্ট বর্তনীর চাবি (K_1) লাগাইয়া উহাতে প্রবাহ পাঠানো হইল। রিয়োষ্ট্যাট R_1-কে এমন মানে রাখা হইল যাহাতে ফিলামেণ্টে 0·1 অ্যামপিয়ারের মত প্রবাহ যায়। ইহার পর K_2-চাবি লাগাইয়া, রিয়োষ্ট্যাট R_2-কে এমন মানে রাখা হইল যাহাতে অ্যানোডে প্রায় 5 ভোল্ট মত কম বিভব প্রযুক্ত হয়। এই অবস্থায়, অ্যানোড-বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, মিলিঅ্যামমিটার (mA) হইতে পাওয়া গেল।

(iii) এখন, রিয়োষ্ট্যাট R_2-কে ধাপে ধাপে পরিবর্তন করিয়া, অ্যানোড-বিভব ক্রমশঃ 5 ভোল্ট অন্তর বাড়ানো হইতে লাগিল এবং প্রতিবারে, অ্যানোড-প্রবাহের মান মিলিঅ্যামমিটার হইতে লওয়া হইল। এইভাবে অ্যানোড-বিভব ক্রমশঃ বাড়ানো হইতে থাকিবে, যতক্ষণ না, অ্যানোড-প্রবাহের সংপৃক্ত মান পাওয়া যায় (চিত্র 10.2)। এই সংপৃক্ত মান ফিলামেণ্ট-প্রবাহের উপর নির্ভরশীল।

(iv) এরপর ফিলামেণ্ট-প্রবাহের মান পরিবর্তন করিয়া (0·2 অ্যামপিয়ার) পরীক্ষাটি পুনরায় সম্পন্ন করা হইল। এইভাবে ফিলামেণ্ট-প্রবাহের মান অন্ততঃ চারিবার লইয়া (0·1, 0·2, 0·3, 0·4 অ্যামপিয়ার), প্রতিবারে (ii) ও (iii) পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করা হইল।

(v) অবশেষে, একটি লেখচিত্র কাগজে, অ্যানোড-বিভব বনাম অ্যানোড-প্রবাহের (বিভিন্ন ফিলামেণ্ট-প্রবাহের জন্য) ছক অঙ্কন করা হইল (চিত্র 10.2) ।

ফল (Results) :

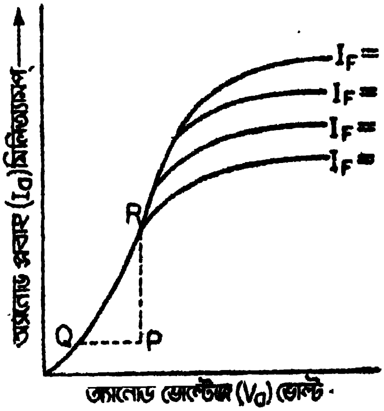
ফিলামেণ্ট-প্রবাহ (I_F) অ্যামপিয়ার	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	অ্যানোড-ভোল্টেজ (V_a) (ভোল্ট)	অ্যানোড-প্রবাহ (I_a) (মিলিঅ্যামপিয়ার)	ডায়োড-ভালভের আভ্যন্তরীণ রোধের মান (R_i) $\left(=\frac{QP}{PR}\times 10^3 \text{ ওহম্} \right)$.
…	1	…	…	…
	2	…	…	
	3	…	…	
	…	—	—	
	7	…	…	
…	1	…	…	
	2	…	…	
	3	…	…	
	…	—	—	
	7	…	…	
…	1	…	…	…
	2	…	…	
	3	…	…	
	…	—	—	
	7	…	…	
…	1	…	…	…
	2	…	…	
	3	…	—	
	…	—	—	
	7	…	—	

লেখচিত্র অঙ্কন

লেখচিত্রে X-অক্ষ বরাবর অ্যানোড-ভোল্টেজ (V_a) এবং Y-অক্ষ বরাবর অ্যানোড-প্রবাহ (I_a) প্রকাশ করিয়া, লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। চারিটি মানের ফিলামেণ্ট-প্রবাহের (I_F) জন্য চারিটি লেখচিত্র পাওয়া যাইবে। ঐ লেখচিত্রের সরল অংশ (straight portion) QR মনোনীত করিয়া R বিন্দুতে একটি উল্লম্ব রেখা এবং Q

বিন্দুতে একটি অনুভূমিক রেখা টানিলে উহারা P বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং ডায়োড-ভালভের আভ্যন্তরীণ রোধ যদি R_i হয়, তাহা হইলে,

$$R_i = \frac{\delta V_a}{\delta I_a} \times \frac{QP}{RP} = 10^3 \text{ ওহম্}$$



চিত্র 10.2 : ডায়োডের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র

সুতরাং লেখচিত্র হইতে, QP ও RP-এর দৈর্ঘ্য মাপিয়া, ভালভের আভ্যন্তরীণ রোধ-এর মান পাওয়া যাইবে।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) অ্যামমিটার, ভোল্টমিটার ও মিলিঅ্যামমিটারের নেরুগুলি ঠিকমত দেখিয়া বর্তনীতে সাবধানে যুক্ত করিতে হইবে।

(ii) ফিলামেন্টের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ খুব বেশী হইবে না এবং অনুমোদিত মানের নীচে উহাকে রাখিতে হইবে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ এই যন্ত্রকে ভালভ বলা হয় কেন?

উঃ সাধারণ ভালভের ন্যায় ইহারা কেবলমাত্র একদিকে প্রবাহ পাঠায় বলিয়া ইহাদের ভালভ বলে।

প্রঃ ডায়োড-ভালভ-এর ব্যবহারিক প্রয়োগ কি?

উঃ পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করার কাজে (rectification) ইহার ব্যবহার হয়।

প্রঃ ট্রায়োড-ভালভের সহিত ইহার পার্থক্য কি?

উঃ ট্রায়োড-ভালভে তিনটি ইলেকট্রোড থাকে।

প্রঃ অ্যানোডে সংপৃক্ত প্রবাহ কিসের উপর নির্ভর করে?

উঃ উহা ফিলামেন্ট-প্রবাহমাত্রার মানের উপর নির্ভর করে।

প্রঃ এক্ষেত্রে প্রবাহ-বিভব সম্পর্ক কি ওহমের সূত্র মানিয়া চলে ?

উঃ না, উহারা রিচার্ডসনের সূত্র ($\frac{3}{2}$ সূত্র) মানিয়া চলে, অর্থাৎ $I_a \propto V_a{}^{3/2}$ সূত্র অনুসারে পরিবর্তিত হয়।

প্রঃ অ্যানোডে ধনাত্মক বিভব প্রয়োগ করা হয় কেন ?

উঃ ইহার ফলে ক্যাথোড হইতে উৎপন্ন ইলেকট্রনগুলি আকর্ষিত হয় এবং অ্যানোডের দিকে ধাবিত হওয়ার ফলে, যথেষ্ট অ্যানোড-প্রবাহ পাওয়া যায়।

প্রঃ অ্যানোড-বিভব শূন্য হইলে কি হইবে ?

উঃ তখন যদিও ইলেকট্রনের উপর অ্যানোড কর্তৃক কোন আকর্ষণ থাকিবে না, তথাপি উচ্চবেগে ধাবমান ইলেকট্রনের কিছু অংশ অ্যানোডের উপর আসিবে এবং ফলে খুব সামান্য পরিমাণ অ্যানোড-প্রবাহ পাওয়া যাইবে।

প্রঃ ফিলামেন্টের সাহায্যে প্রত্যক্ষভাবে না পরোক্ষভাবে উষ্ণ করা ক্যাথোড সুবিধাজনক ?

উঃ পরোক্ষভাবে উষ্ণ করা ক্যাথোডের ক্ষেত্রে উৎপন্ন ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশী হয়। সেজন্য পরোক্ষভাবে উষ্ণ হওয়া ক্যাথোড সুবিধাজনক।

প্রঃ অ্যানোড-বিভব ঋণাত্মক করিলে কি হইবে ?

উঃ সেক্ষেত্রে উৎপন্ন ইলেকট্রনগুলি অ্যানোড কর্তৃক বিকর্ষিত হইবে এবং ফলে তাহারা অ্যানোডগাত্রে না আসিতে পারায়, অ্যানোড-প্রবাহের মান শূন্য হইবে।

10·2 ট্রায়োড ভালভের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন এবং উহা হইতে ভালভের ধ্রুবকগুলির মান নির্ণয়

(To draw the characteristic curves of a triode valve and hence to determine the valve coustants)

মূলনীতি (Theory) :

একটি ট্রায়োড-ভালভের অ্যানোড বর্তনীতে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য একটি নির্দিষ্ট মানে রাখিয়া যদি ভালভের গ্রিডে বিভিন্ন বিভব প্রয়োগ করা হয়, তাহা হইলে, ভালভে অ্যানোড-প্রবাহও বিভিন্ন হইবে। গ্রিডে প্রযুক্ত বিভবকে (V_g) একটি লেখচিত্র কাগজে X-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া এবং অ্যানোড-প্রবাহকে (I_a) Y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া যদি একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায়, তাহা হইলে ঐ লেখচিত্রের আকার চিত্র 10.4-এ প্রদর্শিত মত হইবে।

অনুরূপভাবে, যদি ভালভের গ্রিডে একটি নির্দিষ্ট বিভব প্রয়োগ করিয়া (V_g), উহার অ্যানোড-বিভব পরিবর্তন করা হয়, তাহা হইলেও অ্যানোড-প্রবাহের মান বিভিন্ন হইবে। আবার, একটি লেখচিত্র কাগজে, X-অক্ষ বরাবর অ্যানোড-বিভব (V_a) প্রকাশ করিয়া এবং Y-অক্ষ বরাবর অ্যানোড-প্রবাহ (I_a) প্রকাশ করা হয়, তাহা হইলে এক্ষেত্রে লেখচিত্রটি চিত্র 10.5-এ প্রদর্শিত মত হইবে।

ভালভের ধ্রুবকসমূহ :

একটি ট্রায়োড-ভালভে তিনটি ধ্রুবক আছে

(i) বিবর্ধনাঙ্ক (amplification factor 'μ')

(ii) আভ্যন্তরীণ রোধ (internal resistance 'R_i')

এবং (iii) অন্যোন্য পরিবাহিতাংক (mutual conductance 'g_m')

(i) **বিবর্ধনাঙ্ক :**

ভালভে গ্রিড-বিভব V_g কে স্থির রাখিয়া অ্যানোড-প্রবাহমাত্রা I_a কে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ পরিবর্তন করিতে যদি অ্যানোড-বিভব V_a-কে δV_a পরিমাণ পরিবর্তন করিতে হয়, এবং অ্যানোড-প্রবাহ V_a-কে স্থির রাখিয়া, অ্যানোড-প্রবাহের ঐ পরিমাণ পরিবর্তন করিতে যদি গ্রিড-বিভবকে (V_g) δV_g পরিমাণ পরিবর্তন করিতে হয়, তাহা হইলে

$$\text{ট্রায়োড-ভালভের বিবর্ধনাঙ্ক } (\mu)=\left(\frac{\delta V_a}{\delta V_g}\right)_{I_a} \qquad \cdots \quad (10.2a)$$

(ii) **আভ্যন্তরীণ রোধ :**

একটি নির্দিষ্ট গ্রিড-বিভবের (V_g) জন্য, অ্যানোড-বিভব (V_a)-কে যদি δV_a পরিমাণ পরিবর্তন করা হয়, তাহা হইলে অ্যানোড-প্রবাহের (I_a) যে পরিমাণ পরিবর্তন হয়, তাহা যদি δI_a হয়, তাহা হইলে

$$\text{ট্রায়োড-ভালভের আভ্যন্তরীণ রোধ } (R_i)=\left(\frac{V_a}{\delta I_a}\right)_{V_g} \qquad \cdots \quad (10.2b)$$

(iii) **অন্যোন্য পরিবাহিতাংক :**

একটি নির্দিষ্ট অ্যানোড-বিভবের জন্য (V_a), গ্রিড-বিভবকে (V_g) δV_g পরিমাণ পরিবর্তন করিলে যদি অ্যানোড-প্রবাহ (I_a)-এর পরিবর্তন δI_a হয়, তাহা হইলে

$$\text{ভালভের অন্যোন্য পরিবাহিতাংক } (g_m)=\left(\frac{\delta I_a}{\delta V_g}\right)_{V_a} \qquad \cdots \quad (10.2c)$$

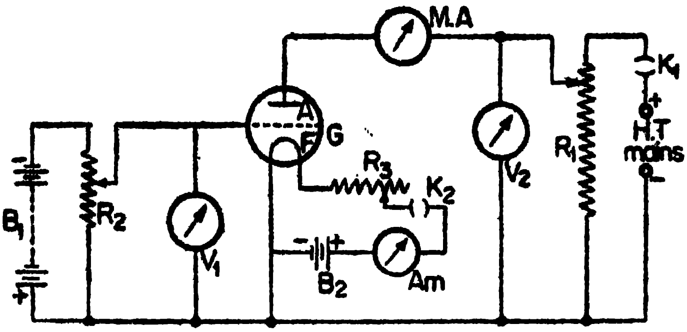
ট্রায়োড-ভালভের অভিলক্ষণিক লেখচিত্রগুলি হইতে (চিত্র 10.4 ও 10.5) এই ধ্রুবকগুলির মান নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

ট্রায়োড-ভালভ ; দুইটি ভোল্টমিটার ; তিনটি রিয়োষ্ট্যাট ; অ্যামমিটার ; মিলি-অ্যামমিটার ; প্লাগ চাবি দুইটি ; 24-ভোল্টের একটি ব্যাটারী (B_1) ; 6-ভোল্টের একটি ব্যাটারী (B_2) ; সমপ্রবাহ মেন উৎস (H.T.)

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

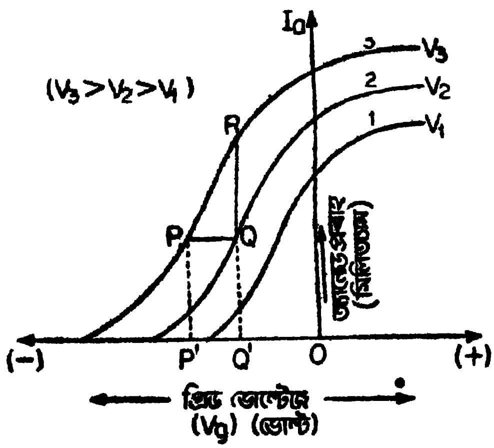
(i) চিত্র 10.3-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সঠিকভাবে করিতে হইবে। ব্যাটারী B_1, B_2, এবং সমপ্রবাহ মেন উৎস (H.T.)-এর ধনাত্মক (+) ও ঋণাত্মক (−) মেরুগুলি চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী ঠিকমত সংযোগ করিতে হইবে।



চিত্র 10.3 : ট্রায়োড-ভালভের অভিলক্ষণিক লেখ অঙ্কন ব্যবস্থা

(ii) অ্যানোডে বিভবমাত্রা 90 ভোল্ট হইতে সুরু করা যায় এবং গ্রিডে, ঋণাত্মক বিভব হইতে সুরু করিয়া প্রতি 2 বা 3 ভোল্ট অন্তর বিভবমাত্রা প্রয়োগ করিয়া পাঠ লইতে হইবে।

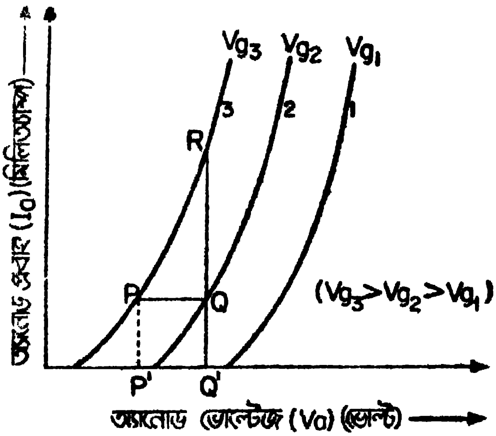
(iii) অ্যানোডে বিভব-বৈষম্য 90, 100 ও 110 ভোল্ট প্রয়োগ করিয়া প্রতিক্ষেত্রে গ্রিড-ভোল্টেজ ঋণাত্মক (−) হইতে সুরু করিয়া ধনাত্মক (+)-এর কিছুদূর অবধি প্রয়োগ করিয়া, সংশ্লিষ্ট অ্যানোড-প্রবাহের মান মিলিঅ্যাম্মিটার হইতে লিপিবদ্ধ করা হইল। সুতরাং তিনটি অ্যানোড-বিভব-বৈষম্যের জন্য (V_1, V_2, V_3) তিনটি প্রস্থ



চিত্র 10.4 : ট্রায়োড ভালভের দ্বিতীয় অভিলক্ষণিক লেখচিত্র ($V_g—I_a$)

পাঠ পাওয়া গেল। এই তিনটি প্রস্থ পাঠের জন্য তিনটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল (চিত্র 10.4)।

(iv) এরপর গ্রিডে একটি নির্দিষ্ট মানের বিভব-বৈষম্য (V_g) প্রয়োগ করিয়া এবং তাহা স্থির রাখিয়া যদি অ্যানোডে বিভিন্ন বিভব-বৈষম্য (V_a) প্রয়োগ করা হয়, তাহা হইলে প্রতিবারে অ্যানোড-প্রবাহের মানও বিভিন্ন হইবে। এইরূপে গ্রিডে তিনটি বিভিন্ন মানের বিভব-বৈষম্য (V_{g1}, V_{g2}, ও V_{g3}) প্রয়োগ করিয়া, প্রতিক্ষেত্রে V_a বনাম I_a-এর মান লিপিবদ্ধ করিতে হইবে। প্রতি গ্রিড-বিভবের জন্য V_a ও I_a-কে লেখচিত্র কাগজে যথাক্রমে X-অক্ষ ও Y-অক্ষ বরাবর প্রকাশ করিলে চিত্র 10.5-এ প্রদর্শিত লেখচিত্র পাওয়া যাইবে। তিনটি গ্রিড-বিভবের জন্য তিনটি লেখচিত্র পাওয়া যাইবে।



চিত্র 10.5 : ট্রায়োড-ভালভের দ্বিতীয় অভিলক্ষণিক লেখচিত্র (V_a—I_a)

(v) সারণীতে এই মানগুলি লিপিবদ্ধ করিয়া এবং সমীকরণ (10.2a), (10.2b) ও (10.2c) হইতে ভালভের ধ্রুবকগুলির মান নির্ণয় করা হইল।

ফল (Results) :

$(V_g\text{-}I_a)$ লেখচিত্র অঙ্কনের জন্য পাঠ

সারণী—1

ফিলামেন্ট-প্রবাহ =...... অ্যামপিয়ার

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	অ্যানোড-ভোল্টেজ V_1 =...... ভোল্ট		অ্যানোড-ভোল্টেজ V_2 =...... ভোল্ট		অ্যানোড-ভোল্টেজ V_3 =...... ভোল্ট	
	গ্রিড-ভোল্টেজ V_g ভোল্ট	অ্যানোড-প্রবাহ I_a অ্যাম্প্	গ্রিড-ভোল্টেজ V_g ভোল্ট	অ্যানোড-প্রবাহ I_a অ্যাম্প্	গ্রিড-ভোল্টেজ V_g ভোল্ট	অ্যানোড-প্রবাহ I_a অ্যাম্প্
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—

V_a—I_a) লেখচিত্র অঙ্কনের জন্য পাঠ

সারণী—2

ফিলামেণ্ট-প্রবাহ=...... অ্যামপিয়ার

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	গ্রিড-ভোল্টেজ V_{g1} =..... ভোল্ট		গ্রিড-ভোল্টেজ V_{g2} =...... ভোল্ট		গ্রিড-ভোল্টেজ V_{g3} =....... ভোল্ট	
	অ্যানোড-ভোল্টেজ V_a ভোল্ট	অ্যানোড-প্রবাহ I_a মিলিঅ্যাম্প্	অ্যানোড-ভোল্টেজ V_a ভোল্ট	অ্যানোড-প্রবাহ I_a মিলিঅ্যাম্প্	অ্যানোড-ভোল্টেজ V_a ভোল্ট	অ্যানোড-প্রবাহ I_a মিলিঅ্যাম্প্
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—

ভালভের ধ্রুবকের মান নির্ণয়
[$(V_g - I_a)$ লেখচিত্র হইতে]
সারণী—3

লেখদ্বয় গৃহীত	V_a-এর পরিবর্তন (δV_a) ভোল্ট	V_g-এর পরিবর্তন (δV_g) ভোল্ট	-এর রব I_a) প		R_i $\left(\frac{\delta V_a}{\delta I_a}\right)_{V_g}$	$g_m = \left(\frac{\delta I_a}{\delta V_g}\right)_{V_a}$ (মহও
3 ও 2	$(V_3 - V_2) = \ldots\ldots$	$PQ = \ldots\ldots$	$RQ = \ldots$	$= \frac{V_3 - V_2}{PQ}$	$\frac{V_2}{RQ} \times 10$	$\frac{QR \times 10^{-}}{Q}$
2 ও 1	—	—				
3 ও 1	—	—				—

সুতরাং, বিবর্ধনাঙ্কের গড় মান (μ)=……

আভ্যন্তরীণ রোধের গড় মান (R_i)=……ওহম্

অন্যোন্য পরিবাহিতাংকের গড় মান (g_m)=……মহওস্ (mhos)

ভালভের ধ্রুবকের মান নির্ণয়

[($V_a - I_a$) লেখচিত্র হইতে]

সারণী—4

গৃহীত লেখদ্বয়	V_g-এর পরিবর্তন (δV) ভোল্ট	I-এর পরিবর্তন (δI_a) অ্যাম্পিয়ার	V_a-এর পরিবর্তন (δV_a) ভোল্ট	$u = \left(\frac{\delta V}{\delta V_g}\right)_{I_a}$	$R_i = \left(\frac{\delta V_a}{\delta I_a}\right)_{V_g}$ (ওহম্)	$g_m = \left(\frac{\delta I_a}{\delta V_g}\right)_{V_a}$ (মহওস্)
3 ও 2	$(V_{g3} - V_{g2})$	$RQ \times 10^{-3}$ = ...	PQ = ...	$\frac{PQ}{(V_{g3} - V_{g2})}$ = ...	$\frac{PQ}{RQ} \times 10^3$	$\frac{RQ \times 10^{-3}}{(V_{g3} - V_{g2})}$ = ...
2 ও 1	—	—	—	—	—	—
3 ও 1	—	—	—	—	—	—

সুতরাং,

বিবর্ধনাঙ্কের গড় মান (μ)=……

আভ্যন্তরীণ রোধের গড় মান (R_i)=………ওহম্

অন্যোন্য পরিবাহিতাংকের গড় মান (g_m)=……মহওস্ (mhos)

সতর্কতা (Precautions) :

(i) পরীক্ষাকালে ফিলামেন্টের প্রবাহমাত্রা যেন স্থির থাকে। উহা পরিবর্তিত হইলেও, রিয়োষ্ট্যাট R_3 দ্বারা উহাকে স্থির রাখিতে হইবে ।

(ii) অভিলক্ষণিক লেখাচিত্রগুলির সরলরেখা অংশগুলিতেই, ভালভের ধ্রুবকগুলির মান স্থির থাকে। সেজন্য, ঐ ধ্রুবকগুলির মান নির্ণয়ের সময়ে যথাসম্ভব লেখাচিত্রের সরল অংশগুলি ব্যবহার করিতে হইবে।

(ii) বর্তনী সংযোগ করিবার সময়ে, প্রতিটি অংশে মেরুগুলি (ধনাত্মক ও ঋণাত্মক) দেখিয়া ঠিকমত সংযোগ করিতে হইবে।

(iv) গ্রিড-ভোল্টেজ যেন খুব বেশী না হয় (20 ভোল্টের কম হওয়া বাঞ্ছনীয়)।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ ট্রায়োড-ভালভের সহিত ডায়োডের পার্থক্য কি ?

উঃ ডায়োডে দুইটি ইলেকট্রোড থাকে ট্রায়োড-ভালবে তিনটি ইলেকট্রোড থাকে : অ্যানোড, ক্যাথোড ও গ্রিড।

প্রঃ তৃতীয় ইলেকট্রোড গ্রিডের ক্রিয়া কি ?

উঃ উহা ইলেকট্রনগুলির অ্যানোডের দিকের গতি নিয়ন্ত্রণ করে। ধনাত্মক গ্রিডে ইলেকট্রনের গতি বর্ধিত হয় এবং ঋণাত্মক গ্রিডে গতি হ্রাস পায়।

প্রঃ ট্রায়োড-ভালভ-এর ব্যবহারিক প্রয়োগ কি ?

উঃ ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের বিবর্ধক (amplifier) অথবা পরবর্তী প্রবাহকে একমুখীকরণের কার্যে ব্যবহার করা হয়।

প্রঃ 'স্পেস-চার্জ' (space charge) বলিতে কি বুঝ ?

উঃ ফিলামেন্টকে স্বল্প ভোল্টেজের দ্বারা উত্তপ্ত করিলে উহা হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। এই ইলেকট্রনগুলি ফিলামেন্টের চারিদিকে জমা হইয়া থাকে যাহাকে 'স্পেস্-চার্জ' বলে। উহারা পরবর্তী ইলেকট্রন নিঃসরণে বাধা দেয়।

প্রঃ ভালভের পারস্পরিক অভিলক্ষণিক লেখচিত্র (mutual characteristic curve) কাহাকে বলে ?

উঃ অ্যানোড-বিভব স্থির রাখিয়া, গ্রিড-ভোল্টেজের সহিত অ্যানোড-প্রবাহের যে লেখচিত্র ($V_g—I_a$) পাওয়া যায়, তাহাকেই ভালভের পারস্পরিক অভিলক্ষণিক লেখচিত্র বলে (চিত্র 10.4)।

প্রঃ অ্যানোডে কি পরিবর্তী বিভব প্রয়োগ করা যায় ?

উঃ হাঁ, সেক্ষেত্রে একটি ঋজুকারকের (rectifier) সাহায্যে উহাকে একমুখী করিয়া লইতে হইবে।

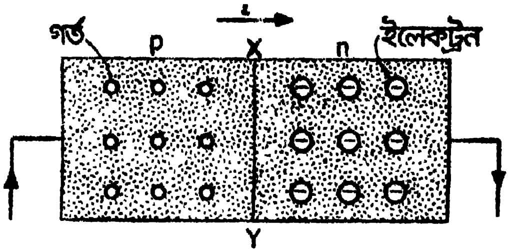
প্রঃ ভালভের ধ্রুবকগুলির মধ্যে কি কোন সম্পর্ক আছে ?

উঃ হাঁ, ভালভের বিবর্ধনাঙ্ক=আভ্যন্তরীণ রোধ × অন্যোন্য পরিবাহিতাংক।

10.3 অর্ধপরিবাহী ডায়োডের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন (To draw the characteristic curves of a semi-conductor diode .

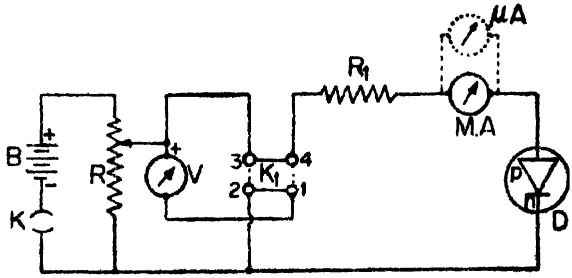
মূলনীতি (Theory) :

যখন একটি p-টাইপ এবং একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখা হয়, তখন ঐ p-n সংযোগকে অর্ধপরিবাহী ডায়োড বলে। এই ডায়োড, ভালভের ন্যায় পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে পরিণত করিতে পারে বলিয়া উহাকে ডায়োড বলা হয় (চিত্র 10.6)



চিত্র 10.6 : অর্ধপরিবাহী ডায়োড

চিত্র 1 ·.7-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ করিয়া অর্ধপরিবাহী ডায়োড কম্যুটেটরের (K_1 2নং-এর সহিত 1নং এবং 3নং-এর সহিত 4নং যুক্ত করিলে P-পরিবাহীতে ধনাত্মক বিভব এবং n-পরিবাহীতে ঋণাত্মক বিভব প্রযুক্ত হইবে। এই ব্যবস্থাকেই অগ্রবর্তী বায়াস forward bias বলে। অগ্রবর্তী বায়াস প্রয়োগের সময়ে ডায়োডে



চিত্র 10.7 : অর্ধপরিবাহী ডায়োডের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন ব্যবস্থা

প্রবাহমাত্রা বেশী হয় বলিয়া একটি মিলিঅ্যামমিটার (M.A.) ব্যবহার করিয়া প্রবাহমাত্রা মাপা হয়। আবার যখন কম্যুটেটরের 2নং-এর সহিত 3নং এবং 1নং-এর সহিত 4নং যোগ করা হয়, তখন ডায়োডের p-পরিবাহীতে ঋণাত্মক বিভব এবং n-পরিবাহীতে ধনাত্মক বিভব প্রযুক্ত হয়। এই ব্যবস্থাকে **বিপরীত বায়াস (reverse bias)** বলে। বিপরীত বায়াস প্রয়োগের সময়ে, ডায়োডে প্রবাহমাত্রা খুব কম হয় বলিয়া, মিলিঅ্যামমিটারের পরিবর্তে তখন একটি মাইক্রোঅ্যামমিটার (μA) ব্যবহার করা হয়।

যন্ত্রাবলী (Apparatus) :

অর্ধপরিবাহী ডায়োড ; মিলিঅ্যাম্‌মিটার বা মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার ; কম্যুটেটর ; ভোল্টমিটার (3 ভোল্ট পরিসরের) ; রিয়োষ্টাট (R) ; রোধ (R_1 – 100 ওহমের মত) ; প্লাগ চাবি (K) ; ব্যাটারী।

পরীক্ষা-পদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 107-এ প্রদর্শিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগ সাধন করা হইল। R রিয়োষ্ট্যাটে এরূপ মান প্রয়োগ করা হইল যাহাতে ভোল্টমিটারে 0·1 ভোল্ট মত পাঠ দেয়। কম্যুটেটরের 1নং-এর সহিত 2নং এবং 3নং-এর সহিত 4নং বিন্দু যোগ করা হইল। মিলিঅ্যাম্মিটারে ডায়োড বর্তনীতে অগ্রবর্তী বায়াসের জন্য, প্রবাহমাত্রার পাঠ লওয়া হইল। এইরূপে ডায়োড প্রযুক্ত ভোল্টেজ ধাপে ধাপে বাড়ানো হইল (রিয়োষ্ট্যাটের মান পরিবর্তন করিয়া) এবং 0·1 ভোল্ট অন্তর প্রতিক্ষেত্রে ডায়োডে প্রযুক্ত অগ্রসর বায়াসের জন্য, ডায়োড-প্রবাহের মান মিলিঅ্যাম্‌মিটার হইতে নির্ণয় করা হইল।

(ii) ইহার পর কম্যুটেটরের 2নং-এর সহিত 3নং এবং 1নং-এর সহিত 4নং বিন্দু সংযোগ করিয়া, ডায়োডে বিপরীত বায়াস প্রয়োগ করা হইল এবং মিলিঅ্যাম্‌মিটারের পরিবর্তে একটি মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার (μA) যোগ করা হইল।

(iii) পদ্ধতি (i)-এর মত ডায়োডে বিভিন্ন বিপরীত বায়াস্ প্রয়োগ করিয়া, প্রতি-ক্ষেত্রে ডায়োড-প্রবাহ মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার হইতে মাপা হইল। এক্ষেত্রে দেখা যাইবে যে, ব্যাটারী হইতে অনেক বেশী ভোল্টেজ (10 ভোল্ট মত) লাগিবে এবং রিয়োষ্ট্যাট R-কে সেইমত মান দিতে হইবে। ইহাও দেখা যাইবে যে, বিপরীত বায়াসের মান 1 ভোল্টের পরই, ডায়োড-প্রবাহের মান প্রায় সংপৃক্ত হইয়া যাইবে এবং এই প্রবাহকে 'বিপরীত সংপৃক্ত প্রবাহ' বলে।

পক্ষান্তরে, অগ্রবর্তী বায়াসের সময়ে, ডায়োড-প্রবাহের মান খুব কম থাকে (0·4 ভোল্ট বায়াস পর্যন্ত)। বায়াসের মান 0·5 ভোল্টের পর, প্রবাহের মান এক্সপোনেন্সীভাবে (exponentially) বৃদ্ধি পাইতে থাকে বায়াস্ বৃদ্ধির সাথে সাথে এবং উহার চরম মান প্রযুক্ত রোধ (R_1) দ্বারা সীমিত হয়।

ফল (Results) :

বায়াস্ ভোল্টেজের প্রকৃতি	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রযুক্ত বায়াস্ (ভোল্টেজ ভোল্ট)	ডায়োডের প্রবাহমাত্রা (মিলিঅ্যামপিয়ার/মাইক্রো-অ্যামপিয়ার	
অগ্রবর্তী	1	—	—	মিলিঅ্যামপিয়ার
	2	—	—	,,
	3	—	—	,,
	4	—	—	,,
	—	—	—	,,
বিপরীত	1	—	—	মাইক্রোঅ্যামপিয়ার
	2	—	—	,,
	3	—	—	,,
	4	—	—	,,
	—		—	,,
	—	—		
	—			

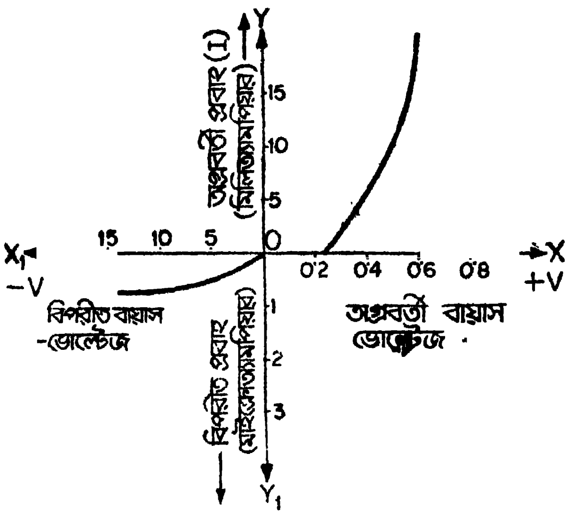
লেখচিত্র অঙ্কন

লেখচিত্র কাগজে OX-অক্ষ বরাবর অগ্রবর্তী ভোল্টেজ এবং OX'-অক্ষ বরাবর বিপরীত ভোল্টেজ (বায়াস্) প্রকাশ করা হইল এবং OY বরাবর অগ্রবর্তী ভোল্টেজের জন্য ডায়োড-প্রবাহ এবং OY' বরাবর বিপরীত ভোল্টেজের জন্য ডায়োড-প্রবাহের মান প্রকাশ করা হইল। OY-বরাবর প্রবাহ মিলিঅ্যামপিয়ারে এবং OP' বরাবর প্রবাহকে মাইক্রোঅ্যামপিয়ারে প্রকাশ করা হইল। লেখচিত্রের আকার ও প্রকৃতি দেখানো হইল (চিত্র 10.8)।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) ডায়োডের p পরিবাহীতে যাহাতে ব্যাটারীর ভোল্টেজ সরাসরি প্রযুক্ত হইয়া ডায়োডকে ক্ষতিগ্রস্ত করিতে না পারে সেজন্য ডায়োডের সহিত শ্রেণীসজ্জায় একটি রোধ R' (100 ওহমের মত) যোগ করা বাঞ্ছনীয়।

(ii) অগ্রবর্তী বায়াস্ ভোল্টেজ প্রয়োগের সময়ে লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে. ঐ ভোল্টেজ



চিত্র 10.8 : ডায়োডের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র

যেন ·5 ভোল্টের অধিক না হয়। সেক্ষেত্রে ডায়োড ক্ষতিগ্রস্ত হইতে পারে। এই সীমা রিয়োষ্ট্যাট R-এর দ্বারা সীমিত করা যাইতে পারে।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ p-টাইপ ও n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর মধ্যে পার্থক্য কি ?

উঃ [পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

প্রঃ ইহাদিগকে অর্ধপরিবাহী বলে কেন ?

উঃ অগ্রসর বায়াসের ক্ষেত্রে ডায়োড-প্রবাহ থাকে কিন্তু মেক উল্টাইয়া দিলে (বিপরীত বায়াসের ক্ষেত্রে) প্রবাহ থাকে না বলিয়া ইহাদের অর্ধপরিবাহী বলে।

প্রঃ সাধারণ ডায়োড-ভালভ অপেক্ষা ইহাদের সুবিধা কি ?

উঃ সাধারণ ভালভের ক্ষেত্রে যেমন ফিলামেন্ট উষ্ণ করার জন্য প্রবাহের প্রয়োজন হয়, এক্ষেত্রে তেমন হয় না। অধিকন্তু অর্ধপরিবাহী ডায়োড আকারে অনেক ছোট হয় এবং কাজও সুবিধাজনক।

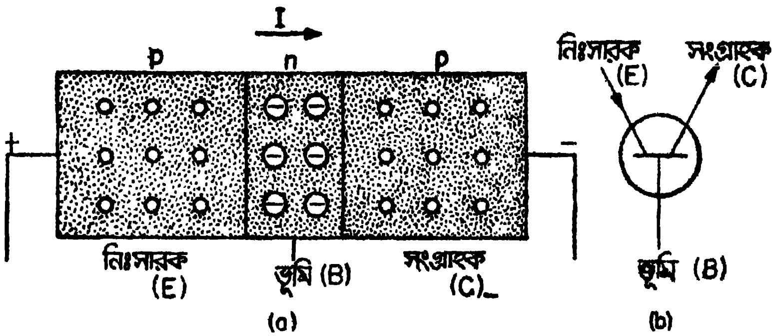
প্রঃ বিপরীত বায়াসের ক্ষেত্রে যদি প্রবাহ প্রবাহিত না হয়, তাহা হইলে ডায়োড-প্রবাহ কোথা হইতে আসিতেছে ?

উঃ উহা ডায়োডের মধ্যে ক্ষরণজনিত (**leakage**) প্রবাহ যাহার মান খুব কম (মাইক্রো অ্যাম্পিয়ার ক্রমের)।

10·4 একটি ট্রানজিস্টরের (*p-n-p*) অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন যাহার নিঃসারক সাধারণ অংশীদার হিসাবে বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত থাকে। (To draw the characteristic curve of a *p-n-p* transistor under common emitter configuration)

মূলনীতি (Theory) :

যখন দুইটি একই ধরনের অর্ধ-পরিবাহীর মধ্যস্থানে উহাদের বিপরীত ধরনের একটি স্বল্পবেধের অর্ধপরিবাহী স্থাপন করিয়া পরস্পরের সংস্পর্শে রাখা হয়, তখন ইহাদের সমবায়ে যে ব্যবস্থাটি গঠিত হয় তাহাকে ট্রানজিস্টর বা অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বলে। এইরূপ ট্রানজিস্টর দুইপ্রকারের হইতে পারে। *p-n-p* ধরনের অথবা *n-p-n* ধরনের।

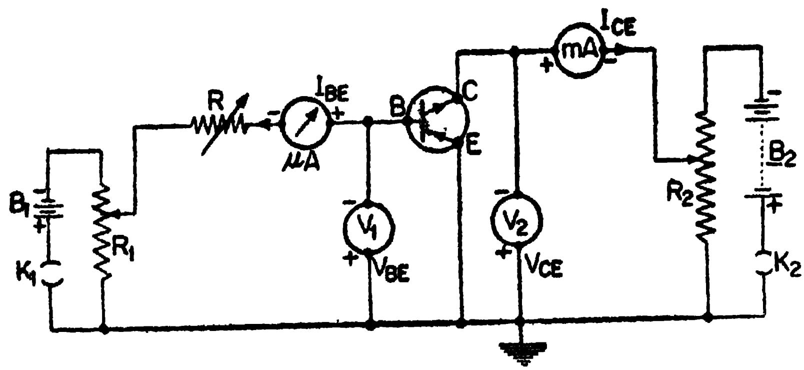


চিত্র 10.9 : *p-n-p* ট্রানজিস্টর

যখন দুই পাশে *p*-ধরনের অর্ধপরিবাহী থাকে, তখন তাহাকে *p-n-p* ট্রানজিস্টর বলে (চিত্র 10.9)। বাম অর্ধপরিবাহীকে নিঃসারক (emitter) এবং ডানদিকের অর্ধপরিবাহীকে সংগ্রাহক (collector) বলে। মধ্যবর্তী পাতলা অর্ধপরিবাহীকে (বিপরীত ধরনের) ভূমি (base) বলে।

চিত্র 10 10-এ প্রদর্শিত একটি *p-n-p* ট্রানজিস্টরকে যথাযথ বর্তনীতে যুক্ত করিয়া যদি নিঃসারক (E) ও সংগ্রাহকের (C) মধ্যে বিভব-প্রভেদ V_{CE} এবং নিঃসারক (E) ও ভূমির (B) মধ্যে বিভব-প্রভেদ V_{BE} প্রয়োগ করা হয়, তাহা হইলে মনে করা যাউক, সংগ্রাহক-নিঃসারক বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ I_{CE} হয় এবং নিঃসারক-ভূমি বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ I_{BE} হয়। এখন যদি I_{BE} কে একটি নির্দিষ্ট মানে রাখিয়া, V_{CE}-র বিভিন্ন মানের জন্য বিভিন্ন I_{CE}-এর মান লইয়া, উহাদের একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়, তাহা হইলে ঐ লেখচিত্রকে, ট্রানজিস্টরের (*p-n-p*) 'স্থিতীয় উৎপাদক

অভিলক্ষণীয় লেখচিত্র' (static output characteristic curves) বলে। এই লেখচিত্র হইতে ট্রানজিস্টরের 'বাধিক উৎপাদক রোধ' (incremental output resistance)-এর মান নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 10.10 : ($p-n-p$) ট্রানজিস্টরের অভিলক্ষণিক লেখচিত্র অঙ্কন ব্যবস্থা

যন্ত্রাবলী (Appartus) :

একটি p-n-p ট্রানজিস্টর ; দুইটি পরিবর্তনীয় রোধ (R_1, R_2) ; একটি সঞ্চরণশীল রোধ (R-10 কিলোওহমের মত) ; একটি কম ভোল্টের (4 ভোল্ট) ব্যাটারী (B_1) ; একটি উচ্চ ভোল্টের (20 ভোল্ট) ব্যাটারী (B_2) ; দুইটি প্লাগ চাবি (K_1, K_2) ; দুইটি $D. C.$ ভোল্টমিটার (1 ভোল্ট ও 20 ভোল্ট পরিসরের (V_1 ও V_2) ; একটি $D. C.$ মিলিঅ্যাম্মিটার (mA) ; একটি $D. C.$ মাইক্রোঅ্যাম্মিটার (μA)।

পরীক্ষাপদ্ধতি (Procedure) :

(i) চিত্র 10.10-এ প্রকাশিত ব্যবস্থানুযায়ী বর্তনীর সংযোগসাধন করা হইল। মূলতঃ এখানে দুইটি পৃথক বর্তনী থাকে। একটি ভূমি-নিঃসারক (B-E) বর্তনী এবং অপরটি সংগ্রাহক-নিঃসারক (C-E) বর্তনী প্রকৃতপক্ষে, নিঃসারক (E) এই দুই বর্তনীতেই অন্তর্ভুক্ত থাকিয়া সাধারণ অংশীদার (common) হিসাবে কার্য করে।

(ii) ভূমি-নিঃসারক বর্তনীতে K_1 চাবি লাগাইয়া, R_1 রোধের মান এরূপ করা হইল যাহাতে মাইক্রোঅ্যাম্মিটারে প্রায় 40 মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা (I_{BE}) পাওয়া যায়।

(iii) এবার নিঃসারক-সংগ্রাহক বর্তনীতে K_2-চাবি লাগাইয়া, R_2-এর মান এমন করা হইল, যাহাতে নিঃসারক ও সংগ্রাহকের মধ্যে বিভব-প্রভেদ (V_{CE}) খুব কম (5 ভোল্টের মত) হয়। এই অবস্থায় এই বর্তনীতে যুক্ত মিলিঅ্যাম্মিটার (mA) হইতে প্রবাহমাত্রা (I_{CE}) লিপিবদ্ধ করা হইল।

(iv) I_{BE}-এর মান ঐ 40 মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ারে স্থির রাখিয়া, V_{CE}-এর মান ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করা হইতে লাগিল যতক্ষণ না পর্যন্ত V_{CE}-এর মান প্রায় 20 ভোল্ট পর্যন্ত আসে। প্রতিক্ষেত্রে মিলিঅ্যাম্মিটার হইতে I_{CE}-এর মান লিপিবদ্ধ করা হইল।

(v) এরপর, ভূমি-নিঃসারক বর্তনীর প্রবাহমাত্রা বাড়াইয়া (I_{BE}) 60-মাইক্রোঅ্যাম-পিয়ারে রাখা হইল এবং পদ্ধতি (iii) ও (iv)-এর পুনরাবৃত্তি করিয়া, V_{CE}-এর বিভিন্ন মানের জন্য I_{CE} -এর বিভিন্ন পাঠ লওয়া হইল।

(vi) অনুরূপভাবে, I_{BE}-এর মান 80-মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার ও 100 মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ারের জন্য একই পাঠ লওয়া হইল।

(vii) পরিশেষে, একটি লেখচিত্র কাগজে, X-অক্ষ বরাবর V_{CE} এবং Y-অক্ষ বরাবর I_{CE} নির্দেশ করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল (চিত্র 10.11) এবং I_{BE}-এর চারিটি মানের জন্য (40, 60, 80 ও 100 মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার) চারিটি লেখচিত্র পাওয়া গেল। এই লেখচিত্রই হইবে p-n-p ট্রানজিস্টরের 'স্থিতীয়' উৎপাদ অভিলক্ষণীয় লেখচিত্র।

ফল (Results) :

V_{CE} বনাম I_{CE}-এর পাঠ

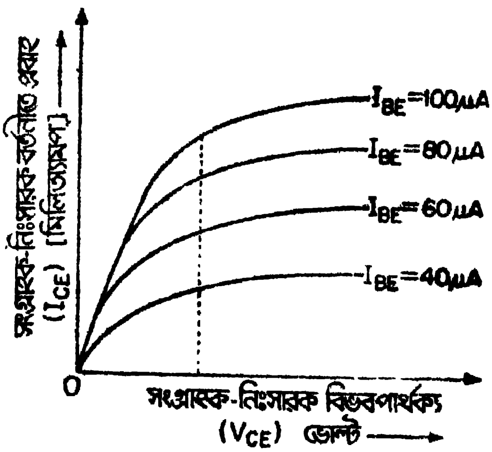
সারণী—1

গৃহীত ট্রানজিস্টর = p-n-p ধরনের (নং......)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	I_{BE} = ... μA		I_{BE} = ... μA		I_{BE} = ... μA		I_{BE} = ... μA	
	V_{CE} (ভোল্ট)	I_{CE} (মিলিঅ্যামপ)	V_{CE} (ভোল্ট)	I_{CE} (মিলিঅ্যাম্প্)	V_{CE} (ভোল্ট)	I_{CE} (মিলিঅ্যাম্প্)	V_{CE} (ভোল্ট)	I_{CE} (মিলিঅ্যাম্প্)
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—

লেখচিত্র অঙ্কন

লেখচিত্র কাগজের X-অক্ষ বরাবর V_{CE} এবং Y-অক্ষ বরাবর I_{CE}-কে যথাক্রমে ভোল্টে এবং মিলিঅ্যাম্পিয়ারে প্রকাশ করিয়া, I_{BE}-এর বিভিন্ন মানের জন্য পৃথকভাবে লেখচিত্র অঙ্কন করা হইল। লেখচিত্রের প্রকৃতি চিত্র 10.11-এ প্রদর্শিত হইয়াছে।



চিত্র 10.11 : *p-n-p* ট্রানজিস্টরের অভিলক্ষণীয় লেখচিত্র

I_{BE}-এর চারিটি বিভিন্ন মানের জন্য চারিটি লেখচিত্র পাওয়া যাইবে। এই লেখচিত্রকেই ট্রানজিস্টরের স্থিতীয় উৎপাদ অভিলক্ষণীয় লেখচিত্র বলা হয় (**static output characteristic curve**)।

সতর্কতা (Precautions) :

(i) নিঃসারক-ভূমি বর্তনীতে বিভব-প্রভেদের মান (V_{BE}) খুব কম রাখা বাঞ্ছনীয়।

(ii) V_{CE}-এর মান বৃদ্ধিকালে, I_{B} -এর মান সামান্য কমিয়া যাইতে পারে। রোগ R_1-কে সমযোজন করিয়া, ঐ মান নির্দিষ্ট রাখা প্রয়োজন।

প্রশ্নোত্তর

প্রঃ *p-n-p* ও *n-p-n* ট্রানজিস্টরের মধ্যে পার্থক্য কি ?

উঃ প্রথম ক্ষেত্রে মধ্যখানের *n*-ধরনের অর্ধ পরিবাহী এবং উহার দুইপার্শ্বে *p*-ধরনের অর্ধ পরিবাহী থাকে কিন্তু *n-p-n* ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে, মধ্যখানে *p*-ধরনের অর্ধ পরিবাহী থাকে এবং উহার দুইপার্শ্বে *n*-ধরনের অর্ধ পরিবাহী থাকে।

প্রঃ ট্রায়োড-ভালভ অপেক্ষা ট্রানজিস্টার ব্যবহারে সুবিধা কি ?

উঃ সুবিধাগুলি অনেকগুলি, প্রথমতঃ ট্রানজিস্টার আকারে ছোট এবং বর্তনীতে খুব অল্প জায়গা নেয়, ইহা ব্যতীত, ট্রানজিস্টার অল্প বৈদ্যুতিক ক্ষমতার বলে ইহার জীবন দীর্ঘস্থায়ী হয়। এবং ইহার ক্যাথোডজাতীয় কোন কিছু না থাকায়, তাহা উষ্ণ করিবার জন্য কোন তড়িৎপ্রবাহের প্রয়োজন হয় না।

প্রঃ ট্রানজিস্টরের অর্ধপরিবাহী কিসের দ্বারা তৈয়ারী হয় ?

উঃ সাধারণতঃ জারমেনিয়ামের মধ্যে ইনডিয়াম পরমাণু যুক্ত করিয়া p-টাইপ ট্রানজিস্টর এবং জারমেনিয়ামের মধ্যে আর্সেনিক পরমাণু যোগ করিয়া n-টাইপ ট্রানজিস্টর তৈয়ারী করা হয়।

প্রঃ এই ট্রানজিস্টরে আর অন্য কোন ধরনের অভিলক্ষণীয় লেখচিত্র হয় কি ?

উঃ হাঁ, যখন p-n-p ট্রানজিস্টরের V_{BE}-কে একটি নির্দিষ্ট মানে রাখিয়া, V_{BE}-কে X-অক্ষ বরাবর এবং তদসংশ্লিষ্ট I_{BE}-কে Y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। তখন সেই লেখচিত্রকে, p-n-p ট্রানজিস্টরের 'স্থিতীয় নিবেশী অভিলক্ষণীয় লেখচিত্র' (Static input characteristic curve) বলে।

প্রঃ অপরিবাহী কেলাসের মধ্যে (জারমেনিয়াম জাতীয়) অপদ্রব্য (impurity) ঢুকাইলে, ঐ কেলাস পরিবাহী হয় কেন ?

উঃ কোন কোন অপদ্রব্য কেলাস হইতে ইলেকট্রন গ্রহণ করিয়া কেলাসের মধ্যে ধনাত্মক আধানের (hole) সৃষ্টি করিয়া উহাকে অর্ধপরিবাহী করে। আবার কখনো, অপদ্রব্য কেলাসের মধ্যে ইলেকট্রন ছাড়িয়া দিয়া কেলাসে ঋণাত্মক আধান সৃষ্টি করিয়া উহাকে অর্ধপরিবাহী করিয়া তুলে।

প্রঃ p-টাইপ ও n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর মধ্যে পার্থক্য কি ?

উঃ অপদ্রব্য যে কেলাস হইতে ইলেকট্রন গ্রহণ করিয়া তাহাকে অর্ধপরিবাহী করিয়া তোলে, সেই কেলাসকে p-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে। পক্ষান্তরে, অপদ্রব্য যে কেলাসে ইলেকট্রন দান করিয়া, কেলাসকে অর্ধপরিবাহী করিয়া তোলে, সেই কেলাসকে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।

পরিশিষ্ট

ভৌত ধ্রুবক রাশির তালিকা

(Table of Physical Constants)

1. **কয়েকটি প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্র** (Some useful mathematical formulae) :

বৃত্তের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2$ — চোঙের আয়তন $= \pi r^2 l$

পরিধি $= 2\pi r$ — বক্রতলের ক্ষেত্রফল $= 2\pi r l$

গোলকের আয়তন $= \frac{4}{3}\pi r^3$ — শঙ্কুর আয়তন $= \frac{1}{3}\pi r^2 l$

উপরিতলের ক্ষেত্রফল $= 4\pi r^2$

2. **কয়েকটি নিয়মিত আকারবিশিষ্ট বস্তুর জাড্য-ভ্রামক** (Moment of Inertia of some Regular Bodies) :

বস্তু	ঘূর্ণনাক্ষ	জাড্য-ভ্রামকের মান
চোঙ	উহার নিজ অক্ষ	$\frac{1}{2}MR^2$
	দৈর্ঘ্যের সমকোণে এবং ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া	$M\left(\frac{l^2}{12}+\frac{r^2}{4}\right)$
গোলক	যে কোন ব্যাস	$\frac{2}{5}MR^2$
আয়তক্ষেত্রিক পাত	উহার তলের সমকোণে এবং ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া	$\frac{M}{12}(l^2+b^2)$

3. **পরিবর্তন তালিকা** (Conversion Table)

ভর	দৈর্ঘ্য	আয়তন
1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম	1 ইঞ্চি = 2·54 সেমি.	1 পাইট = 0·568 লিটার
1 গ্রাম = 15·43 গ্রেণ	1 ফুট = 30·48 সেমি.	1 গ্যালন = 4·546 লিটার
1 কিগ্রা. = 2·2 পাউণ্ড	1 গজ = 91·44 সেমি.	1 লিটার = 0·353 ঘনফুট
1 আউন্স = 28·35 গ্রাম	1 মিটার = 39·37 ইঞ্চি	1 লিটার = 1·76 পাইট
1 টন = 1016 কিগ্রা.	1 কিমি. = 0·621 মাইল	1 ঘনফুট = 28·31 লিটার
1 পা. = 0·4536 কিগ্রা.	1 মাইল = 1·61 কিমি.	1 ঘনমি. = 35·52 ঘনফুট
1 গ্রেণ = 64·8 মিলিগ্রা.	1 সেমি. = 0·3937 ইঞ্চি	1 ঘনফুট = 0·283 ঘনমি.
	1 মিটার = 3·281 ফুট	1 লিটার = 61·03 ঘনইঞ্চি

4. সাধারণ কতকগুলি পদার্থের ঘনত্ব (Densities of some common substances) :

কঠিন (গ্রাম/সিসি)		তরল (গ্রাম/সিসি)		গ্যাসীয় (গ্রাম/সিসি)	
অ্যালুমিনিয়াম ···	2·70	অ্যালকোহল ···	0·80	[সাধারণ চাপ ও তাপে (at N.T.P.)]	
পিতল ···	8·4-8·7	ক্যাস্টর অয়েল ···	0·95	বাতাস ···	0·001293
তামা ···	8·93	গ্লিসারিন ···	1·26	আর্গন ···	0·001784
ইবোনাইট ···	1·15	কেরোসিন ···	0·83	হাইড্রোজেন	0·000089
ইস্পাত ···	7·80	দুধ ···	1·03	হিলিয়াম ·	0·0001785
সীসা ···	11·37	টার্পেনটাইন ···	0·87	নাইট্রোজেন ··	0·00125
মার্বেল ···	2·70	অলিভ অয়েল ···	0·92	অক্সিজেন ···	0·001429
বরফ ···	0·916	ক্লোরোফর্ম ··	1·51	জলীয় বাষ্প (100° সে)	0·000581
কর্ক ···	0·26	পারদ ···	13·60		
ফটকিরি ···	1·76	স্পিরিট ···	0·83		
কার্বন ···	2·30	প্যারাফিন অয়েল ···	0·80		
বালি ···	2·60	বেন্‌জিন ···	0·88		
চিনি ···	1·60	অ্যানিলিন ···	1·02		
লবণ ···	2·20	লিনসিড অয়েল ··	0·92		
সোনা ···	19·32	সালফিউরিক অ্যাসিড ··	1·84		
কাঁচ (ক্রাউন) ···	2·60	সমুদ্রের জল ···	1·03		
,, (ফ্লিন্ট) ···	4·00				
রূপা ··	10·5				
মোম (প্যারাফিন)	0·90				
পোর্সিলেন ···	2·40				
ন্যাপথালিন ···	1·15				

5. বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব (গ্রাম/সিসি) (Density of water at different temperatures):

উষ্ণতা (°সে)	0	2	4	6	8
0	0·99987	0·99997	1·0000	0·99997	0·99988
10	0·99973	0·99953	0·99927	0·99897	0·99862
20	0·99823	0·99780	0·99732	0·99681	0·99626
30	0·99567	0·99505	0·99440	0·99371	0·99300
40	0·99220	0·99150	0·99070	0·98980	0·98900
50	0·98810	0·98720	0·98620	0·98530	0·98430
60	0·98320	0·98220	0·98110	0·98010	0·97890
70	0·97780	0·97670	0·97550	0·97430	0·97310
80	0·97160	0·97060	0·96930	9·96800	0·96670
90	0·96530	0·96400	0·96260	0·96120	0·95980

6. পদার্থের স্থিতিস্থাপকীয় ধ্রুবক ও অসহ-পীড়ন (Elastic Constants and Breaking Stress of Materials):

পদার্থ	ইয়ং-গুণাঙ্ক (Y) (ডাইন/বর্গ সেমি)	আয়তন বিকার গুণাঙ্ক (K) ডাইন/ব.সেমি.	দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক (n) (ডাইন/বর্গ সেমি)	অসহপীড়ন (কিলোগ্রাম/বর্গ সেমি)
	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	
লোহা	11·5	9·6	4·4	1500
ইস্পাত	19·7	17	7·5	11230
পিতল	9·7	10·6	3·5	3000
তামা	12·4	13·9	4·0	4000
অ্যালুমিনিয়াম	7·0	7·5	2·55	2200
রূপা	7·8	10·9	2·9	3000
ম্যাঙ্গানিন	12·4	12·1	4·7	...

7. তরল ও গ্যাসের সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক ও বাতাসের সংস্পর্শে তরল-তলের পৃষ্ঠটান (Viscosity of Liquids and Gases ; and Surface Tension of Liquids in contact with air) :

পদার্থ	পৃষ্ঠটান (Surface Tension) 20° সে-এ (ডাইন/সেমি.)	সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক (Viscosity coeff.) 20° সে-এ (সি. জি. এস. এককে)
জল	72·75	0·01002
অ্যালকোহল	22·30	0·0119
প্যারাফিন তেল	25·50	0·020
ক্যাস্টর তেল	—	9·86
গ্লিসারিন	63·0	8·30
পারদ	487·0	0·0156
টার্পেণ্টাইন তেল	27·3	0·0149
অলিভ তেল	32·0	0·840
সাবান জল	20·0	—
বায়ু	—	0·000183 (0° সে)
হাইড্রোজেন	—	0·000086 („)
নাইট্রোজেন	—	0·000167 („)
অক্সিজেন	—	0·000192 („)
জলীয় বাষ্প	—	0·000087 („)

8. **উষ্ণতার সহিত জলের পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা-গুণাঙ্কের পরিবর্তন** (Variation of Surface Tension and Viscosity of Water with temperature) :

উষ্ণতা (° সে)	পৃষ্ঠটান (ডাইন/সেমি)	সান্দ্রতা গুণাঙ্ক (পয়েজ)
0	75·7	0·01786
10	74·2	0·01304
20	72·7	0·01002
30	71·2	0·00798
40	69·6	0·00654
50	67·6	0·00548
60	66·2	0·00467
70	64·4	0·00405
80	62·6	0·00355
90	60·1	0·00315
100	58·8	0·00283

9. **বিভিন্ন মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ** Velocity of Sound in different media) :

মাধ্যম	গতিবেগ 20° সে-এ (মিটার/সেকেণ্ড)	মাধ্যম	গতিবেগ 20° সে-এ (মিটার/সেকেণ্ড)
পিতল	3500	পারদ	1407
তামা	3700	জল	1450
কাচ	5000	বাতাস	344
লোহা	5100	হাইড্রোজেন	1330
অ্যালুমিনিয়াম	5000	নাইট্রোজেন	338
ইস্পাত	5130	কার্বনডাইঅক্সাইড	275

10. সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ (Pressure of Saturated Water Vapour):

উষ্ণতা (°সে)	চাপ (মিমি পারদস্তম্ভ)	উষ্ণতা (°সে)	চাপ (মিমি পারদস্তম্ভ)	উষ্ণতা (°সে)	চাপ (মিমি পারদস্তম্ভ)
13	11·23	23	21·02	33	37·59
14	11·98	24	22·32	34	39·75
15	12·78	25	23·69	35	42·02
16	13·62	26	25·13	36	44·40
17	14·52	27	26·65	37	46·90
18	15·46	28	28·25	38	49·51
19	16·46	29	29·94	39	52·26
20	17·51	30	31·71	40	55·13
21	18·62	31	33·57	45	71·64
22	19·79	32	35·53	50	92·30

11. বিভিন্ন পদার্থের তাপীয় ধর্ম (Thermal Properties of Different Substances) :

পদার্থ	গলনাঙ্ক (°সে)	স্ফুটনাঙ্ক (°সে)	আপেক্ষিক তাপ (ক্যালরি/গ্রাম/°সে)	গলনের/স্ফুটনের লীনতাপ (ক্যালরি/গ্রাম)	দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $\times 10^{-6}$ (প্রতি °সে)	আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $\times 10^{-4}$ (প্রতি °সে)	তাপ পরিবাহিতাঙ্ক (ক্যালরি/সেমি/সেকেণ্ড/°সে)
অ্যালুমিনিয়াম	657	2450	0·29	96	24	72	503×10^{-3}
তামা	1089	2600	0·091	49	17	51	920 ,,
লোহা	1100	3000	0·119	28	10	30	114 ,,
ইস্পাত	1400	3000	0·112	49	11	33	110 ,,
সীসা	327	1730	0·031	6·2	23	69	83 ,,
পিতল	900	...	0·092	27	26	78	260 ,,
দস্তা	419	906	0·091	24	16	0·89	265 ,,
কাচ	1000	...	0·160	...	9	27	2·5 ,,
মোম	62	...	0·69	...	...		0·22 ,,
মার্বেল	...	...	0·22	...	...	...	7·8 ,,
অ্যালকোহল	−115	78	0·58	205	...	11·2	0·48 ,,
বরফ	0	...	0·50	80	51	150	5·7 ,,
জল	0	100	1·00	536	...	2·07	1·36 ,,
ন্যাপথালিন	80	210·8	...	...	...	...	...
গ্লিসারিন	17	290	0·59	...	...	5·3	0·71 ,,
পারদ	−38·9	357	0·033	68	...	1·8	19·8 ,,
প্যারাফিন তেল	...	...	0·52	...	...	9·0	0·36 ,,
টার্পিন তেল	−10	159	0·42	70	...	9·4	... ,,
বেনজিন	5·5	80·2	0·40	93	...	12·4	0·43 ,,
ইথার	−12	34	0·56	89	...	16·3	0·30 ,,
কেরোসিন	...	...	0·051	...	...	...	0·40 ,,

12. বিভিন্ন স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের উপাদানের এবং অভিকর্ষজ ত্বরণের ('*g*') মান (Values of elements of Earth's Magnetism and of '*g*' at different places) :

স্থান	বিচ্যুতি	বিনতি	চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ (H) (ওরষ্টেড)	অভিকর্ষজ ত্বরণ ('*g*') (সেমি/বর্গ-সেকেণ্ড)
কলিকাতা	1°*W*	30°0′	0·378	978·8
দিল্লী	40′*E*	42°30′	0·345	979·2
মাদ্রাজ	10′*W*	9°07′	0·369	978·3
বোম্বাই	20′*W*	24°22′	0·376	978·6
ঢাকা	—	32°40′	0·371	978·9
খড়্গপুর	—	28°45′	0·379	978·7
যাদবপুর	1°*W*	30°0′	0·378	978·8
কল্যাণী	—	30°45′	0·377	978·8
শিলিগুড়ি	—	37°20′	0·376	978·9
গৌহাটি	—	37°0′	0·379	978·[illegible]
পাটনা	—	36°0′	0·360	978·9
বর্ধমান	—	31°0′	0·380	978·8
কটক	—	25°30′	0·377	978·6
শান্তিনিকেতন	—	32°30′	0·380	978·7

13. পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক (সোডিয়াম আলোর জন্য $\lambda = 5893$ Å) (Refractive Index of substances for sodium light, $\lambda = 5893$ Å) :

পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক
কাচ (ক্রাউন)	1·48-1·61	জল	1·333	কার্বনডাইসালফাইড	1·632
„ (ফ্লিন্ট)	1·53-1·96	অ্যালকোহল	1·362	লিনসিড তেল	1·474
„ (সোডা)	1·50	প্যারাফিন তেল	1·440	ক্যানাডা বালসম্	1·530
হীরা	2·417	গ্লিসারিন	1·473	পটাশ অ্যালাম	1·456
বরফ	1·31	কেরোসিন	1·390	নারিকেল তেল	1·450
অভ্র	1·56-1·60	ক্যাষ্টর তেল	1·472	রক সল্ট	1·544
কোয়ার্টজ	1·544	টার্পেন্টাইন	1·470	ইথার	1·354
বেনজিন	1·504	অলিভ অয়েল	1·460	ক্লোরোফর্ম	1·449

14. কয়েকটি মৌলের নিঃসরণ-বর্ণালীরেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Wavelengths of Emission Spectral Lines of some Elements):

পদার্থ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ($A^\circ = 10^{-8}$ সেমি)	পদার্থ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ($A^\circ = 10^{-8}$ সেমি)	পদার্থ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ($A^\circ = 10^{-8}$ সেমি)
হিলিয়াম	3889 *v*	আর্গন	4159 *v*	সোডিয়াম	5890 *y*
	4026 *v*		4198 *v*	ক্লোরাইড (আগুনে)	5896 *y*
	4471 *b*		4201 *v*	মার্কারী বাতি	5460 *g*
	4713 *b*		4259 *b*		5770 *y*
	4922 *gb*		4703 *b*		5790 *y*
	5016 *g*		6031 *o*		6152 *o*
	5876 *y*	নিয়ন	5765 *y*		6253 *o*
	6678 *r*		5853 *y*	ক্যালসিয়াম	4227 *v*
	7065 *r*		5945 *o*	ক্লোরাইড	3934 *v*
হাইড্রোজেন	3970 *v*		6075 *o*		3968 *v*
	4102 *v*		6383 *o*		5589 *y*
	4340 *b*		6402 *o*		
	4861 *gb*		6507 *r*		
	6563 *r*				

15. বিভিন্ন কোষের তড়িচ্চালক বল (Electromotive Forces of Different Cells):

কোষ	তড়িচ্চালক বল (ভোল্ট)	কোষ	তড়িচ্চালক বল (ভোল্ট)	কোষ	তড়িচ্চালক বল (ভোল্ট)
মুখ্য কোষ :		**মানক কোষ :**		**গৌণ কোষ :** (সঞ্চয়ক)	
বুনসেন	1·8–1·9	ক্যাডমিয়াম	1·01864 (20 °সে)	অ্যাসিড (*Pb*)	2·0
ড্যানিয়েল	1·08				
গ্রোভ	1·9	ক্লার্ক	1·43	অ্যালকালি (*Ni-Fe*)	1·25
লেক্ল্যান্সে	1·46				
বাইক্রোমেট	2·0				

16. পদার্থের বিদ্যুৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান (Electrochemical Equivalents of substances) :

পদার্থ	E. C. E. (গ্রাম/কুলম্ব)	পদার্থ	E. C. E. (গ্রাম/কুলম্ব)
তামা	0·0003293	ক্রোমিয়াম	0·000180
রূপা	0·0011182	হাইড্রোজেন	0·00001044
দস্তা	0·000340		

17. কয়েকটি পদার্থের দ্রবণের সমবর্তনতলের আপেক্ষিক ঘূর্ণন (Specific Rotations of some substances at $\lambda = 5893$ Å at 20°C) :

দ্রাবক (Solvent)	পদার্থ	গাঢ়তা (c)	আপেক্ষিক ঘূর্ণন (ডিগ্রী)
অ্যালকোহল	কর্পূর	45%–90%	$+54{\cdot}2 - 0{\cdot}13\,c$
জল	ইক্ষু-চিনি	4%—28%	$+66{\cdot}67 - 0{\cdot}009\,c$
"	গ্লুকোজ	4%	$-94{\cdot}4$ (7 মিনিট পরে)
"	ডেক্সট্রোজ	9%	$+105{\cdot}2$ (6 মিনিট পরে)
"	পটাসিয়াম-টার্টারেট	8%—50%	$+27{\cdot}14 + 0{\cdot}09\,c$
বিশুদ্ধ	তার্পিন তেল	..	-37

18. পদার্থের আপেক্ষিক রোধ ও রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক (Specific Resistance and Temperature Coefficient of Resistances of some substances) :

পদার্থ	আপেক্ষিক রোধ (ওহম্‌-সেমি)	উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (প্রতি °সে-এ)	পদার্থ	আপেক্ষিক রোধ (ওহম্‌-সেমি)	উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (প্রতি °সে-এ)
অ্যালুমিনিয়াম	$3{\cdot}21\times10^{-6}$	38×10^{-4}	নাইক্রোম	110×10^{-6}	$1{\cdot}7\times10^{-4}$
তামা	1·7× ,,	43× ,,	ম্যাঙ্গানিন	44·5× ,,	−0·1 to 1× ,,
পিতল	6·3× ,,	10× ,,	নিকেল	11·8× ,,	27× ,,
কনস্টানটান	49× ,,	−0·4 to 0·1 ,,	কার্বন ফিলামেন্ট	4000× ,,	ঋণাত্মক
জার্মান সিলভার	33× ,,	2·5 to 6 ,,	টাংস্টেন	5·5× ,,	51× ,,
লোহা	13× ,,	62× ,,	ফসফর ব্রোঞ্জ	5-10× ,,	...
ইস্পাত	19× ,,	16 to 42× ,,	পারদ	95·8× ,,	9× ,,
রূপা	1·63× ,,	40× ,,	কোয়ার্টজ	$1{\cdot}2\times10^{20}$	...
প্ল্যাটিনাম	11× ,,	37× ,,	অভ্র	9×10^{21}	...
সোনা	2·4× ,,	40× ,,	গ্রাফাইট	9×10^{-3}	−7·0× ,,

19. কয়েকটি তাপবৈদ্যুৎ-যুগ্মের ধ্রুবক সংখ্যা (Constants of some common Thermo-couples) :

যুগ্ম	‘a’-এর মান (প্রতি °সে)	‘b’-এর মান (প্রতি °সে²)	তাপ-তড়িৎ-ক্ষমতা মাইক্রোভোল্ট/°সে)
কপার-কনস্ট্যানটান	$37{\cdot}54\times10^{-6}$	$0{\cdot}0444\times10^{-6}$	40
কপার-আয়রন	$13{\cdot}4\times10^{-6}$	$-0{\cdot}0137\times10^{-6}$	50

20. কয়েকটি গাণিতিক ধ্রুবক ও তাহাদের লগারিদম্ (Some mathematical constants and their Logarithms) :

ধ্রুবক	মান	$\log_{10}$
π	3·1416	0·4972
π^2	9·8696	0·9943
$1/\pi$	0·3183	$\bar{1}$·5018
$1/\pi^2$	0·1013	$\bar{1}$·0057
$\sqrt{2}$	1·4142	0·1505
$\sqrt{3}$	1·7321	0·2386
$\sqrt{10}$	3·1623	0·5000
e	2·7183	0·4343
$\log_e 10$	2·3026	0·3622

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
10	0000	0043	0086	0128	0170						5 9 13	17 21 26	30 34 38
						0212	0253	0294	0334	0374	4 8 12	16 20 24	28 32 36
11	0414	0453	0492	0531	0569						4 8 12	16 20 23	27 31 35
						0607	0645	0682	0719	0755	4 7 11	15 18 22	26 29 33
12	0792	0828	0864	0899	0934						3 7 11	14 18 21	25 28 32
						0969	1004	1038	1072	1106	3 7 10	14 17 20	24 27 31
13	1139	1173	1206	1239	1271						3 6 10	13 16 19	23 26 29
						1303	1335	1367	1399	1430	3 7 10	13 16 19	22 25 29
14	1461	1492	1523	1553	1584						3 6 9	12 15 19	22 25 28
						1614	1644	1673	1703	1732	3 6 9	12 14 17	20 23 26
15	1761	1790	1818	1847	1875						3 6 9	11 14 17	20 23 26
						1903	1931	1959	1987	2014	3 6 8	11 14 17	19 22 25
16	2041	2068	2095	2122	2148						3 6 8	11 14 16	19 22 24
						2175	2201	2227	2253	2279	3 5 8	10 13 16	18 21 23
17	2304	2330	2355	2380	2405						3 5 8	10 13 15	18 20 23
						2430	2455	2480	2504	2529	3 5 8	10 12 15	17 20 22
18	2553	2577	2601	2625	2648						2 5 7	9 12 14	17 19 21
						2672	2695	2718	2742	2765	2 4 7	9 11 14	16 18 21
19	2788	2810	2833	2856	2878						2 4 7	9 11 13	16 18 20
						2900	2923	2945	2967	2989	2 4 6	8 11 13	15 17 19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2 4 6	8 11 13	15 17 19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2 4 6	8 10 12	14 16 18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2 4 6	8 10 12	14 15 17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2 4 6	7 9 11	13 15 17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2 4 5	7 9 11	12 14 16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2 3 5	7 9 10	12 14 15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2 3 5	7 8 10	11 13 15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2 3 5	6 8 9	11 13 14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2 3 5	6 8 9	11 12 14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1 3 4	6 7 9	10 12 13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1 3 4	6 7 9	10 11 13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1 3 4	6 7 8	10 11 12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1 3 4	5 7 8	9 11 12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1 3 4	5 6 8	9 10 12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1 3 4	5 6 8	9 10 11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1 2 4	5 6 7	9 10 11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1 2 4	5 6 7	8 10 11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1 2 3	5 6 7	8 9 10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1 2 3	5 6 7	8 9 10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1 2 3	4 5 7	8 9 10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1 2 3	4 5 6	8 9 10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1 2 3	4 5 6	7 8 9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1 2 3	4 5 6	7 8 9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1 2 3	4 5 6	7 8 9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1 2 3	4 5 6	7 8 9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1 2 3	4 5 6	7 8 9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1 2 3	4 5 6	7 7 8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1 2 3	4 5 5	6 7 8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1 2 3	4 4 5	6 7 8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1 2 3	4 4 5	6 7 8

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1 2 3	3 4 5	6 7 8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1 2 3	3 4 5	6 7 8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1 2 2	3 4 5	6 7 7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1 2 2	3 4 5	6 6 7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1 2 2	3 4 5	6 6 7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1 2 2	3 4 5	5 6 7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1 2 2	3 4 5	5 6 7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1 2 2	3 4 5	5 6 7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1 1 2	3 4 4	5 6 7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1 1 2	3 4 4	5 6 7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1 1 2	3 4 4	5 6 6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1 1 2	3 4 4	5 6 6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1 1 2	3 3 4	5 6 6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1 1 2	3 3 4	5 5 6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1 1 2	3 3 4	5 5 6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1 1 2	3 3 4	5 5 6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1 1 2	3 3 4	5 5 6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1 1 2	3 3 4	5 5 6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1 1 2	3 3 4	4 5 6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1 1 2	2 3 4	4 5 6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1 1 2	2 3 4	4 5 6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1 1 2	2 3 4	4 5 5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1 1 2	2 3 4	4 5 5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1 1 2	2 3 4	4 5 5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1 1 2	2 3 4	4 5 5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1 1 2	2 3 3	4 5 5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1 1 2	2 3 3	4 5 5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1 1 2	2 3 3	4 4 5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1 1 2	2 3 3	4 4 5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1 1 2	2 3 3	4 4 5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1 1 2	2 3 3	4 4 5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1 1 2	2 3 3	4 4 5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1 1 2	2 3 3	4 4 5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1 1 2	2 3 3	4 4 5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1 1 2	2 3 3	4 4 5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1 1 2	2 3 3	4 4 5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1 1 2	2 3 3	4 4 5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0 1 1	2 2 3	3 4 4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0 1 1	2 2 3	3 4 4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0 1 1	2 2 3	3 4 4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0 1 1	2 2 3	3 4 4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0 1 1	2 2 3	3 4 4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0 1 1	2 2 3	3 4 4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0 1 1	2 2 3	3 4 4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0 1 1	2 2 3	3 4 4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0 1 1	2 2 3	3 4 4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0 1 1	2 2 3	3 4 4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0 1 1	2 2 3	3 4 4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0 1 1	2 2 3	3 4 4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0 1 1	2 2 3	3 3 4

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
·00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0 1 1	1 1 2	2 2 3
·09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0 1 1	1 1 2	2 2 3
·10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0 1 1	1 1 2	2 2 3
·11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0 1 1	1 2 2	2 2 3
·12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0 1 1	1 2 2	2 2 3
·13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0 1 1	1 2 2	3 3 3
·20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0 1 1	1 2 2	3 3 3
·21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0 1 1	2 2 2	3 3 3
·22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0 1 1	2 2 2	3 3 3
·23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0 1 1	2 2 2	3 3 4
·24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0 1 1	2 2 2	3 3 4
·25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0 1 1	2 2 2	3 3 4
·26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0 1 1	2 2 3	3 3 4
·27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0 1 1	2 2 3	3 3 4
·28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1 1 2	2 3 3	4 5 5
·40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1 1 2	2 3 4	4 5 5
·41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1 1 2	2 3 4	4 5 5
·42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1 1 2	2 3 4	4 5 6
·43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1 1 2	3 3 4	4 5 6
·44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1 1 2	3 3 4	4 5 6
·45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1 1 2	3 3 4	5 5 6
·46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1 1 2	3 3 4	5 5 6
·47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1 1 2	3 3 4	5 5 6
·48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1 1 2	3 4 4	5 6 6
·49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1 1 2	3 4 4	5 6 6

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
·51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
·56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
·59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
·60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
·61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
·67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
·68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
·69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
·70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
·71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
·72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
·73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
·74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
·75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
·76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
·77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
·78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
·79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
·80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
·81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
·84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
·85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
·88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
·89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
·90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
·91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
·92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
·93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
·96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
·97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
·98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
·99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

NATURAL SINES

Degrees	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Differences 1	2	3	4	5
0	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	·0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	·0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	15
5	·0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	·1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	·1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	·1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	·1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	·1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	12	14
11	·1908	1925	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062	3	6	9	11	14
12	·2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2232	3	6	9	11	14
13	·2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	·2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	·2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	·2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	·2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074	3	6	8	11	14
18	·3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	·3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20	·3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	·3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	·3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	·3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051	3	5	8	11	14
24	·4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	·4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	·4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	·4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679	3	5	8	10	13
28	·4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	·4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30	·5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	·5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	·5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	·5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	·5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	·5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	10	12
36	·5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	2	5	7	9	12
37	·6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	·6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	·6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	·6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	·6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	·6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	·6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	·6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10

NATURAL SINES

Degrees	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Differences 1	2	3	4	5
45	·7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	·7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	·7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	·7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	·7547	7558	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50	·7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	·7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	·7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	·7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	·8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	·8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	·8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377	2	3	5	6	8
57	·8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471	2	3	5	6	8
58	·8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	·8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60	·8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7
61	·8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	·8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	·8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	·8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	·9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	·9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	·9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	·9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	·9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70	·9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	·9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	·9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	·9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	2	3	4
74	·9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	·9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	1	2	3	4
76	·9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	·9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	·9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	·9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80	·9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	·9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	·9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	·9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	·9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	·9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	·9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	·9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	·9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	·9998	9999	9999	9999	9999	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	0	0	0	0	0
90	1·000														

NATURAL TANGENTS

Degrees	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Differences 1	2	3	4	5
0	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507	3	6	9	12	15
3	·0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	3	6	9	12	15
4	·0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857	3	6	9	12	15
5	·0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	3	6	9	12	15
6	·1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	3	6	9	12	15
7	·1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	3	6	9	12	15
8	·1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	3	6	9	12	15
9	·1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	3	6	9	12	15
10	·1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	3	6	9	12	15
11	·1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	3	6	9	12	15
12	·2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	3	6	9	12	15
13	·2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475	3	6	9	12	15
14	·2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	3	6	9	12	16
15	·2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	3	6	9	13	16
16	·2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3	6	9	13	16
17	·3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3	6	10	13	16
18	·3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3	6	10	13	16
19	·3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3	7	10	13	16
20	·3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819	3	7	10	13	17
21	·3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	3	7	10	13	17
22	·4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	3	7	10	14	17
23	·4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	3	7	10	14	17
24	·4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642	4	7	11	14	18
25	·4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4	7	11	14	18
26	·4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	4	7	11	15	18
27	·5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	4	7	11	15	18
28	·5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	4	8	11	15	19
29	·5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	4	8	12	15	19
30	·5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985	4	8	12	16	20
31	·6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224	4	8	12	16	20
32	·6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	4	8	12	16	20
33	·6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	4	8	13	17	21
34	·6745	6771	6796	6822	6847	6873	6899	6924	6950	6976	4	9	13	17	21
35	·7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	4	9	13	18	22
36	·7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	5	9	14	18	23
37	·7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	5	9	14	18	23
38	·7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	5	9	14	19	24
39	·8098	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361	5	10	15	20	24
40	·8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662	5	10	15	20	25
41	·8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972	5	10	16	21	26
42	·9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	5	11	16	21	27
43	·9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	6	11	17	22	28
44	·9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965	6	11	17	23	29

NATURAL TANGENTS

Degrees	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Differences 1	2	3	4	5
45	1·0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6	12	18	24	30
46	1·0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686	6	12	18	25	31
47	1·0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067	6	13	19	25	32
48	1·1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463	7	13	20	27	33
49	1·1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875	7	14	21	28	34
50	1·1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	7	14	22	29	36
51	1·2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753	8	15	23	30	38
52	1·2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	8	16	24	31	39
53	1·3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	8	16	25	33	41
54	1·3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	9	17	26	34	43
55	1·4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	9	18	27	36	45
56	1·4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	10	19	29	38	48
57	1·5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941	10	20	30	40	50
58	1·6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	11	21	32	43	53
59	1·6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	11	23	34	45	56
60	1·7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	12	24	36	48	60
61	1·8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1·8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1·9626	9711	9797	9883	9970	2·0057	2·0145	2·0233	2·0323	2·0413	15	29	44	58	73
64	2·0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2·1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2·2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2·3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2·4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2·6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	24	47	71	95	119
70	2·7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2·9042	9208	9375	9544	9714	9887	3·0061	3·0237	3·0415	3·0595	29	58	87	116	145
72	3·0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32	64	96	129	161
73	3·2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3·4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3·7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4·0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972	53	107	160	213	267
77	4·3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646					
78	4·7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	5·0045	5·0504	5·0970					
79	5·1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80	5·6713	7297	7894	8502	9124	9758	6·0405	6·1066	6·1742	6·2432					
81	6·3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	7·0264					
82	7·1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	8·0285					
83	8·1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	9·0579	9·2052	9·3572					
84	9·5144	9·677	9·845	10·02	10·20	10·39	10·58	10·78	10·99	11·20					
85	11·43	11·66	11·91	12·16	12·43	12·71	13·00	13·30	13·62	13·95					
86	14·30	14·67	15·06	15·46	15·89	16·35	16·83	17·34	17·89	18·46					
87	19·08	19·74	20·45	21·20	22·02	22·90	23·86	24·90	26·03	27·27					
88	28·64	30·14	31·82	33·69	35·80	38·19	40·92	44·07	47·74	52·08					
89	57·29	63·66	71·62	81·85	95·49	114·6	143·2	191·0	286·5	573·0					
90	∞														

Mean differences cease to be sufficiently accurate.